

UNIVERSIDAD DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

**Optimización Genética y Nutricional Para la
Producción de Cerdo Ibérico Cruzado Tradicional**

**D. Guillermo Usero Alonso
2022**

Tesis doctoral presentada por
GUILLERMO USERO ALONSO

Realizada bajo la dirección de los doctores
ANTONIO MUÑOZ LUNA
GUILLERMO RAMÍS VIDAL
BEATRIZ ISABEL REDONDO

MURCIA, 2022

La realización de la presente Tesis Doctoral se ha llevado a cabo gracias al trabajo desarrollado en dos proyectos promocionados por el plan de financiación de Proyectos de Investigación y Desarrollo (PID) para empresas individuales que fomenta el Ministerio de Ciencia e Innovación del gobierno español a través del Centro para el Desarrollo Industrial (CDTI), el primero llevado a cabo por la empresa Campojerez, S.L: “Desarrollo de un nuevo programa de alimentación ajustado a las necesidades nutricionales de la nueva línea genética de cerdo ibérico Templario” (IDI-20170887) y el segundo por la empresa Comercial Jabu, S.L: Programa integral de selección genética en dos líneas complementarias ibérica (maternal) y duroc (paternal)” Templario (IDI-20170888).

Estos proyectos han sido cofinanciados por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) con el objetivo de promover el desarrollo tecnológico, la innovación y una investigación de calidad.



A MI FAMILIA

Agradecimientos:

Especiales, a todo al equipo humano de la empresa Cárnicas Joselito S.A., por su apoyo técnico y la disponibilidad de sus instalaciones para la realización de este estudio. A Miguel, Jaime, Marina, Rafa, Eva, Juanlu, Servando y todo el equipo. Gracias por hacerme sentir como uno más. Y por supuesto, gracias, Juan Luis, por abrirme las puertas de tu casa con tanta generosidad y enseñarme el corazón de la dehesa, como protegerla y conservarla.

También he tenido la suerte de contar con la ayuda de cuatro científicos excepcionales, fundamentales para la elaboración, dirección y supervisión de este trabajo, gracias:

- A Francisco Gil, un motor intelectual y mejor compañero. Gracias por transmitirme tanto conocimiento en el día a día y las bases matemáticas de esta tesis. También gracias por aguantarme en tantos momentos no tan buenos. ¡Y lo que nos queda Nene! Es un privilegio formar parte de tu equipo y esta tesis no hubiera sido posible sin tu ayuda.
- A Beatriz Isabel Redondo, por transmitirme tanta ilusión y energía en todo momento. Por la dedicación y compartir tanto conocimiento científico sobre nutrición y producción del cerdo ibérico durante estos años.
- A Antonio Muñoz, por la confianza profesional y humana depositada en mi durante tantos años. Por la dedicación y compartir tanto conocimiento científico sobre genética y nutrición animal. Gracias por enseñarme tanto, a nivel académico y personal.
- A Guillermo Ramis, por darme la confianza de formar parte de tu grupo de investigación. Por la dedicación y compartir tanto conocimiento científico sobre genética y producción animal durante estos años.

Al grupo de Investigación de Tecnología de los Alimentos de la Universidad de Murcia, encabezado por M^a Dolores Garrido.

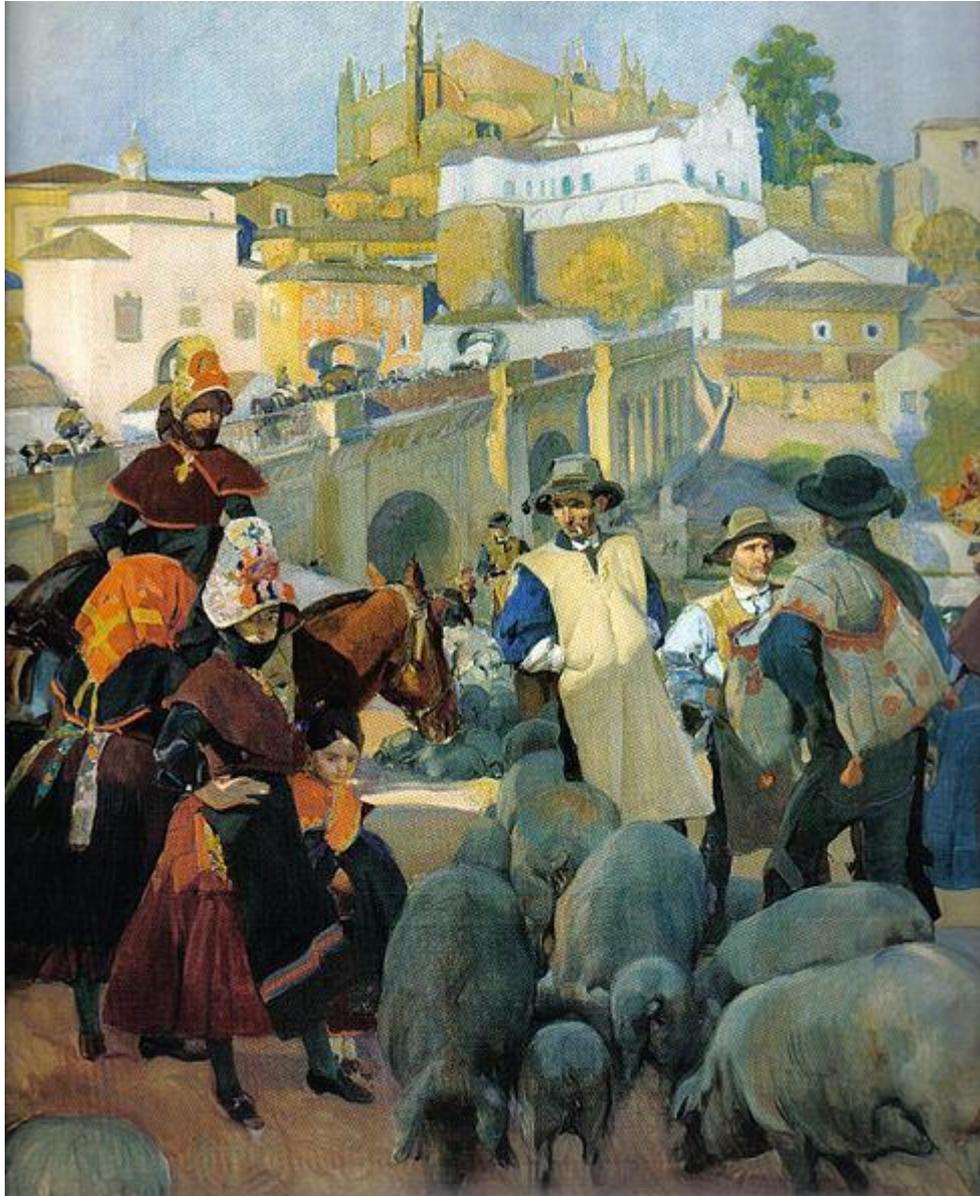
A mi familia, mi madre Blanca, mi padre Enrique y mi hermano Álvaro, por dárme todo en la vida, formarme y apoyarme siempre.

A Begoña, por su apoyo y su paciencia infinita.

A mis compañeros de INGASO, especialmente a Manuel, Francisco, José Alberto, Margarita y Sara.

A mis amigos que siempre están ahí, Luis, Jorge, Sara y Elisa.

A todos vosotros, gracias.



El mercado (Extremadura) de Joaquín Sorolla 1917.

Uno de mis pintores favoritos, Joaquín Sorolla pintó en el año 1917, entre los meses de octubre y noviembre, este maravilloso cuadro, el cual encarna una escena cotidiana en Extremadura, más concretamente durante la celebración el mercado de los martes de Plasencia, donde los protagonistas son tres hombres oriundos del municipio de Montehermoso vestidos de campo de la época y cuatro mujeres y una niña con el traje típico regional del mismo, entre una piara de cerdos ibéricos, al fondo la monumental ciudad de Plasencia.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	7
ÍNDICE GENERAL.....	11
ÍNDICE DE TABLAS	15
ÍNDICE DE FIGURAS	19
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	21
GLOSARIO DE ABREVIATURAS	23
RESUMEN.....	25
SUMMARY.....	27
1.- INTRODUCCIÓN.....	29
1.1.- Situación actual del “subsector” porcino ibérico	31
1.2.- Homogeneidad y trazabilidad del producto.....	34
1.3.- Necesidad de una producción diferenciada.....	35
2.- ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL	37
2.1.- Particularidades del sistema de producción del cerdo ibérico	39
2.2.- Genética	43
2.2.1.- Programas de mejora genética, “Modelo Animal”	35
2.2.2.- Selección genética en cerdo ibérico.....	49
2.3.- Composición corporal del ganado porcino y características diferenciales con el cerdo ibérico. 51	
2.3.1.- Eficiencia de utilización de la energía en porcino.....	53
2.3.2.- Deposición proteica en ganado porcino	57
2.3.3.- Crecimiento, relación energía: proteína	59
2.3.4.- Características diferenciales del cerdo ibérico	63
2.3.5.- Grasa intramuscular y calidad de carne	67
2.3.5.1.- Grasa intramuscular.....	67
2.3.5.2.- Composición en ácidos grasos.....	72
2.4.- Necesidades nutricionales del porcino ibérico puro y cruzado. Recomendaciones	76
2.4.1.- Necesidades nutricionales en ibérico puro.....	76
2.4.2.- Recomendaciones en alimentación en ibérico	78
2.4.3.- Restricción alimentaria y crecimiento compensatorio.....	80
2.5.- Modelización.....	82
2.5.1.- Conceptos fundamentales.....	82
2.5.2.- Modelo de crecimiento.....	83
2.5.3.- Modelo de gestación.....	88

2.5.3.1.- Composición corporal de la cerda.....	90
2.5.3.2.- Crecimiento maternal.....	90
2.5.3.3.- Crecimiento de “Conceptus”	91
2.5.3.4.- Partición de la ingesta energética en la gestación	91
2.5.3.5.- Necesidades de aminoácidos en la gestación	91
2.5.4.- Modelo de periparto.....	99
2.5.5.- Modelo de lactación.....	103
2.5.5.1.- Composición corporal de la cerda.....	104
2.5.5.2.- Producción de leche	104
2.5.5.3.- Glándula mamaria y regresión uterina	105
2.5.5.4.- Partición de la ingesta energética en la lactación	106
2.5.5.5.- Necesidades de aminoácidos en la lactación	106
2.5.6.- ANEXO	107
Tablas de recomendaciones en alimentación en ibérico.....	99
3.- JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	111
3.1.- Objetivo general	114
3.2.- Objetivos específicos	114
3.2.1.- Desarrollo de un programa de mejora genética.....	114
3.2.2.- Desarrollo de modelización nutricional de cerdas ibéricas.....	114
3.2.3.- Desarrollo de modelización nutricional de crecimiento de cerdos ibéricos en sistema “Cebo de Campo”	114
4.- MATERIAL Y MÉTODOS.....	115
4.1.- Diseño del experimento 1	117
Desarrollo del programa genético de la población de cerdo ibérico y duroc Templario™	117
4.1.1.- Animales	118
4.1.2.- Programa genético.....	119
4.1.2.1.- Recogida de información, manejo reproductivo y de testaje.....	120
4.1.2.2.- Cálculo del índice de selección.....	123
4.1.2.3.- Cálculo del progreso genético.....	127
4.1.3.- Evaluación del programa genético	128
4.1.3.1.- Índice de selección.....	129
4.1.3.2.- Evolución en el tiempo de mejora del índice de selección.....	129
4.1.3.3.- Evolución en el tiempo de mejora fenotípica del % GIM.....	129
4.1.3.4.- Impacto de mejora de verraco terminal duroc y la técnica de laboratorio sobre el % GIM del producto final ibérico (50 % duroc) en “Cebo de Campo”	

.....	129
4.2.- Diseño del experimento 2.....	131
Modelización nutricional de cerdas ibéricas para la producción de lechones.....	131
4.2.1.- Diseño del experimento 2.1.....	131
Modelización nutricional de crecimiento de cerdas ibéricas en recría.....	131
4.2.1.1.- Animales y dietas	131
4.2.1.2.- Parámetros zootécnicos medidos.....	134
4.2.1.3.- Modelo de crecimiento	134
4.2.1.4.- Optimización del modelo.....	136
4.2.2.- Diseño del experimento 2.2.....	137
Modelización nutricional de gestación y lactación de cerdas ibéricas.....	137
4.2.2.1.- Animales, granja y dietas	137
4.2.2.2.- Base de datos observados	139
4.2.2.3.- Aproximación general del modelo	140
4.2.2.4.- Modelo de evolución de peso durante la vida reproductiva de la cerda.....	141
4.2.2.5.- Determinación de modelo de gestación y lactación	142
4.2.2.6.- Ecuaciones del modelo de gestación	143
4.2.2.7.- Ecuaciones del modelo de lactación	145
4.2.2.8.- Métodos estadísticos de los datos observados.....	147
4.3.- Diseño del experimento 3	148
Modelización nutricional de crecimiento de cerdo ibérico (50% duroc) criados en sistema de “Cebo de Campo”	148
4.3.1.- Animales	148
4.3.2.- Manejo de los cerdos.....	149
4.3.3.- Programa de alimentación.....	150
4.3.4.- Parámetros zootécnicos medidos	153
4.3.5.- Parámetros de calidad de canal y carne	153
4.3.6.- Análisis estadísticos.....	155
4.3.7.- Modelo de crecimiento.....	156
4.3.8.- Optimización del modelo.....	160
5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	161
5.1.- Resultado y discusión del experimento 1.....	163
Desarrollo del programa de mejora genética y caracterización de la población.....	163
5.1.1.- Índice de selección.....	163
5.1.2.- Evolución del índice de selección a lo largo del tiempo.....	167

5.1.3.- Mejora fenotípica del % GIM durante el periodo de estudio	172
5.1.4.- Impacto de mejora del verraco terminal duroc y la técnica de laboratorio sobre el % GIM del producto final ibérico (50 % duroc) en “Cebo de Campo”	175
5.2.- Resultado y discusión del Experimento 2.....	177
Modelización nutricional de cerdas ibéricas para la producción de lechones.....	177
5.2.1.- Resultado y discusión del Experimento 2.1	177
Modelización nutricional de crecimiento de cerdas ibéricas en recría. ¡Error! Marcador no definido.	
5.2.1.1.- Parámetros zootécnicos y de modelización	177
5.2.1.2.- Curvas de la modelización	180
5.2.1.3.- Tabla de la modelización	181
5.2.2.- Resultado y discusión del Experimento 2.2	183
Modelización nutricional de gestación y lactación de cerdas ibéricas.....	183
5.2.2.1.- Descripción de base de datos observados por ciclo.....	183
5.2.2.2.- Modelo de evolución de PV a lo largo de la vida productiva.....	189
5.2.2.3.- Modelos de gestación y lactación	191
5.2.2.4.- Costes	198
5.2.2.5.- ANEXO	199
5.3.- Resultado y discusión del Estudio 3.....	205
Modelización nutricional de crecimiento de cerdo ibérico criados en sistema de “Cebo de Campo”	205
5.3.1.- Efecto del sexo y el tipo de verraco terminal sobre los parámetros zootécnicos de crecimiento	205
5.3.2.- Crecimiento potencial, lento y compensatorio	209
5.3.3.- Modelo de crecimiento del cerdo ibérico (50% duroc) “Cebo de Campo”.....	211
5.3.4.- Parámetros de calidad de canal	218
5.3.5.- Efecto de aditivos antioxidante sobre los rendimientos del crecimiento y calidad de canal	219
5.3.6.- Parámetros de calidad de carne	219
5.3.7.- Costes.....	228
6.- CONCLUSIONES.....	231
7.- CONCLUSIONS	233
8.- BIBLIOGRAFÍA.....	235

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Composición química corporal del cerdo en vacío, a distintos PV, %	51
Tabla 2.2. Composición corporal del cerdo en vacío, en crecimiento, %	52
Tabla 2.3. Composición de ganancia en peso corporal vacío por kg	63
Tabla 2.4. Revisión del contenido de GIM en carne fresca de cerdo ibérico	70
Tabla 2.5. Revisión del contenido de GIM en carne fresca de cerdo blanco	71
Tabla 2.6. Composición de dietas de acabado para cerdo ibérico de bellota y cerdo blanco intensivo (Estevez <i>et al.</i> , 2006)	74
Tabla 2.7. Composición de AG (medias \pm desviación estándar) de tejido adiposo subcutáneo de cerdo ibérico en extensivo (150 kg PV, 14 meses edad de sacrificio) y blanco en intensivo (85 kg PV, 7 meses de edad de sacrificio) (Estevez <i>et al.</i> , 2006).....	74
Tabla 2.8. Composición química y de AG de la bellota y la hierba.....	75
Tabla 2.9. Necesidades de energía y lisina diarias de la cerda blanca en periparto	100
Tabla 2.10. Composición del calostro y la leche a lo largo de la lactación	105
Tabla 2.11. Recomendación para cerdas ibéricas en intensivo (FEDNA, 2013)	107
Tabla 2.12. Recomendaciones nutricionales para cerdos ibéricos cruzados en crecimiento-cebo en intensivo ¹ (FEDNA, 2013).....	108
Tabla 2.13. Recomendaciones nutricionales para cerdos ibéricos cruzados en crecimiento-cebo en extensivo (FEDNA, 2013)	109
Tabla 2.14. Recomendaciones de composición del corrector vitamínico mineral en cerdas del tronco ibérico (FEDNA, 2013)	110
Tabla 4.1. Curva de racionamiento de pienso en testaje	121
Tabla 4.2. Parámetros genéticos	123
Tabla 4.3. Correlaciones genéticas (rg) y fenotípicas (rp)	123
Tabla 4.4. Variables explicativas	125
Tabla 4.5. Progreso genético caracteres de interés en el primer año.....	128
Tabla 4.6. Ingredientes y composición de las dietas durante las fases 1, 2 y 3, crecimiento ad libitum (pienso de crecimiento y futuras reproductoras), crecimiento restringido (pienso futuras reproductoras)	133
Tabla 4.7. Ecuaciones del modelo de crecimiento diferencial, ibérico hembras de recría	135
Tabla 4.8. Datos de partida de la granja.....	138
Tabla 4.9. Ecuaciones de utilización de energía y partición de nutrientes en gestación.....	144
Tabla 4.10. Ecuaciones de utilización la energía y partición de nutrientes en lactación.....	146
Tabla 4.11. Relación de las necesidades de aminoácidos respecto a las necesidades de lisina digestible (proteína ideal)	147

Tabla 4.12. Ingredientes y composición de las dietas durante las fases 2,3 y 4, crecimiento con restricción (pienso de crecimiento y pienso de engorde I), crecimiento <i>ad libitum</i> (pienso de engorde II)	151
Tabla 4.13. Ecuaciones del modelo de crecimiento diferencial, ibérico “Cebo de Campo”	159
Tabla 5.1. Estadísticos descriptivos del índice de selección de hembras seleccionadas como futuras reproductoras ibéricas Templario™.....	168
Tabla 5.2. Estadísticos descriptivos del índice de selección de hembras seleccionadas como futuras reproductoras duroc Templario™.....	170
Tabla 5.3. Intensidad de selección de hembras ibéricas Templario™ testadas en el tiempo.....	172
Tabla 5.4. Intensidad de selección de hembras duroc Templario™ testadas en el tiempo.....	174
Tabla 5.5. Estadísticos descriptivos del % de GIM MS, en función del tipo de verraco duroc y técnica de laboratorio	175
Tabla 5.6. Resultado de análisis de GIM.....	176
Tabla 5.7. Evolución del PV a lo largo del tiempo, modelo de crecimiento recría futura reproductora ibérica	177
Tabla 5.8. Promedio \pm desviación típica del CMD y GMD observados	177
Tabla 5.9. Promedio \pm desviación típica de PV, PL y EGD, en mm, medidos por ultrasonidos	178
Tabla 5.10. Parámetros del modelo de crecimiento de cerdas ibéricas.....	178
Tabla 5.11. Evolución de parámetros zootécnicos. Modelización de crecimiento	180
Tabla 5.12. Efecto del ciclo sobre parámetros productivos observados	187
Tabla 5.13. Modelización de evolución de peso a lo largo de la vida productiva	189
Tabla 5.14. Resumen de datos “observados vs. objetivo” de eficiencia productiva en lactación, lechón y cerda para el ajuste del modelo	190
Tabla 5.15. Composición de las dietas calculadas por el modelo	192
Tabla 5.16. Consumo de pienso en gestación y lactación por ciclo.....	192
Tabla 5.17. Curvas de consumo de pienso en gestación establecidas por el modelo.....	193
Tabla 5.18. Curvas de consumo de pienso en lactación calculadas por el modelo	195
Tabla 5.19. PV de la cerda a la cubrición, kg. Por ciclos productivos.....	198
Tabla 5.20. PV de la cerda al anteparto, kg. Por ciclos productivos	198
Tabla 5.21. PV al postparto de la cerda, kg. Por ciclos productivos.....	198
Tabla 5.22. PV al destete de la cerda, kg. Por ciclos productivos	199
Tabla 5.23. EGD de la cerda a la cubrición, kg. Por ciclos productivos.....	199
Tabla 5.24. EGD de la cerda al anteparto, kg. Por ciclos productivos.....	199
Tabla 5.25. EGD de la cerda al destete, kg. Por ciclos productivos.....	200
Tabla 5.26. Consumo de pienso de la cerda durante la gestación. Por ciclos productivos	200
Tabla 5.27. Consumo de pienso de la cerda durante la lactación. Por ciclos productivos	200

Tabla 5.28. Número de lechones nacidos vivos por camada. Por ciclos productivos.....	201
Tabla 5.29. Número de lechones destetados por camada. Por ciclos productivos	201
Tabla 5.30. Ganancia de peso de la camada. Por ciclos productivos.....	201
Tabla 5.31. Acumulación de tejido graso maternal, kg. Gestación.....	202
Tabla 5.32. Acumulación de tejido magro maternal, kg. Gestación	202
Tabla 5.33. Peso <i>conceptus</i> al parto, kg. Gestación.....	202
Tabla 5.34. Acumulación de proteína corporal, kg. Lactación	203
Tabla 5.35. Acumulación de grasa corporal, kg. Lactación	203
Tabla 5.36. Producción de leche, kg. Lactación	203
Tabla 5.37. Efecto del sexo (S), tipo de verraco terminal (VT) y sus interacciones sobre el PV (kg) observado a distintas edades a lo largo del crecimiento	205
Tabla 5.38. Efecto del sexo (S), tipo de verraco terminal (VT) y sus interacciones, sobre la GMD (kg/d) observada a distintas edades a lo largo del crecimiento	206
Tabla 5.39. Efecto del sexo (S), tipo de verraco terminal (VT) y sus interacciones, sobre sobre la PL (mm) observada a distintas edades a lo largo del crecimiento.....	206
Tabla 5.40. Efecto del sexo (S), tipo de verraco terminal (VT) y sus interacciones, sobre sobre la EGD (mm) observado a distintas edades a lo largo del crecimiento.....	207
Tabla 5.41. Efecto del sexo (S), tipo de verraco terminal (VT) y sus interacciones, sobre sobre la PL (mm) observada a distintas edades a lo largo del crecimiento	210
Tabla 5.42. Efecto del sexo (S), tipo de verraco terminal (VT) y sus interacciones, sobre sobre la EGD (mm) observado a distintas edades a lo largo del crecimiento	211
Tabla 5.43. Media \pm desviación estándar de los parámetros de crecimiento observados.....	212
Tabla 5.44. Parámetros de las ecuaciones del modelo	216
Tabla 5.45. Parámetros de crecimiento y metabólicos predichos.....	217
Tabla 5.46. Efecto del sexo (S), tipo de verraco terminal (VT) y sus interacciones, sobre rendimientos de parámetros de calidad de canal.....	218
Tabla 5.47. Efecto del verraco terminal duroc, la suplementación extra de antioxidantes y el sexo sobre parámetros de calidad de carne fresca, <i>Longissimus thoracis et lumborum</i>	222
Tabla 5.48. Efecto del verraco finalizador duroc, la suplementación extra de antioxidantes y el sexo sobre el perfil de AG de la grasa subcutánea	224
Tabla 5.51. Optimización económica del modelo.....	227

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Cerdo ibérico (hembra)	31
Figura 2.1. Esquema del programa genético circular (Groen, 2014)	45
Figura 2.2. Esquema de la partición de la energía (Modificado de NRC, 2012)	54
Figura 2.3. PD y LD en función del aporte de EN (Modificado de van Milgen <i>et al.</i> , 2008)	60
Figura 2.4. (a) Relación curvilínea y <i>lineal-plateau</i> entre PD y consumo de proteína, a dos niveles de consumo de energía. (b) Relación lineal y <i>lineal-plateau</i> entre la PD y el consumo de energía	61
Figura 2.5. Corte de imagen histológica del musculo <i>longissimus dorsi</i> porcino	67
Figura 2.6. Evolución de los tejidos corporales de un animal con la edad	68
Figura 2.7. Evolución de la grasa en los tejidos corporales del animal en el tiempo	69
Figura 2.8. Cerdo ibérico (50 % duroc) en montanera	79
Figura 4.1. Finca La Jineta	117
Figura 4.2. Gráfico de los Objetivos de Selección, cerdo ibérico Templario™	118
Figura 4.3. Protocolo de partos y vitalidad	120
Figura 4.4. Protocolo de testaje	122
Figura 4.5. Diseño Experimental 1.1. Ganancia genética y fenotípica	130
Figura 4.6. Cerda ibérica futuras reproductoras ibéricas en crecimiento	131
Figura 4.7. Diseño Experimental 2.1. Modelización de crecimiento de la recría de futuras reproductoras ibéricas	132
Figura 4.8. Cerda ibérica y su camada de lechones recién nacidos	137
Figura 4.9. Diseño Experimental 2.1. Cambios fisiológicos de la cerda en su ciclo de producción	139
Figura 4.10. Alojamiento de los animales en fase de crecimiento-engorde	149
Figura 4.11. Diseño experimental 3. Modelización crecimiento ibérico (50% duroc) “cebo de campo”	150
Figura 4.12. Imagen aérea de Finca La Parrilla	152
Figura 4.13. Imagen aérea de Finca La Chimenea	152
Figura 4.14. Sección transversal <i>longissimus dorsi</i> cerdo ibérico	153
Figura 4.15. Diagrama simplificado del reparto de la energía entre la PD y la LD	156

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1. Evolución del censo de ganado porcino y del censo de porcino ibérico.....	33
Gráfico 2.1. Evolución de censos, número de animales producidos de cerdo ibérico, según categorías, desde 2010 hasta 2019	42
Gráfico 2.2. Propiedades de la curva de crecimiento descrita por la ecuación de Gompertz (1825).....	85
Gráfico 2.3. Propiedades de la curva de ganancia de peso descrita por la derivada de la ecuación de Gompertz.....	85
Gráfico 2.4. Necesidades de lisina a lo largo de la gestación, ciclo 1*	93
Gráfico 2.5. Necesidades de lisina a lo largo de la gestación, ciclo 4*	94
Gráfico 2.6. Necesidades de lisina a lo largo de la gestación, ciclo 5*	95
Gráfico 2.7. Acumulación de grasa a lo largo de la gestación, ciclo 1*	96
Gráfico 2.8. Acumulación de grasa a lo largo de la gestación, ciclo 4*	97
Gráfico 2.9. Acumulación de grasa a lo largo de la gestación, ciclo 5*	98
Gráfico 2.10. Partición de las necesidades de EM de la cerda durante el periparto	101
Gráfico 2.11. Partición de las necesidades de LYS DIS de la cerda durante el periparto.....	102
Gráfico 4.1. Evolución óptima del PV a lo largo de la vida productiva de la cerda	141
Gráfico 5.1. Evolución del promedio del índice de selección de hembras seleccionadas como futuras reproductoras ibéricas Templario™.....	169
Gráfico 5.2. Evolución del promedio del índice de selección de hembras seleccionadas como futuras reproductoras duroc Templario™.....	170
Gráfico 5.3. Tendencia fenotípica % GIM en la población testada y en la población seleccionada como futuras reproductoras. Hembras ibéricas	173
Gráfico 5.4. Tendencia fenotípica % GIM en la población testada y en la población seleccionada como futuras reproductoras. Hembras duroc	175
Gráfico 5.5. Curva de la evolución del crecimiento estimado por el modelo	179
Gráfico 5.6. Curva de la evolución de la ganancia de peso estimada por el modelo	180
Gráfico 5.7. Curva del consumo de pienso medio diario estimado	180
Gráfico 5.8. Evolución de PV (kg) y EGD (mm) en la vida productiva de la cerda.....	183
Gráfico 5.9. Procesos fisiológicos del cambio de PV de la cerda durante la gestación	184
Gráfico 5.10. Procesos fisiológicos del cambio de PV de la cerda durante la lactación	185
Gráfico 5.11. Curva de la evolución del PV estimada por el modelo.....	188
Gráfico 5.12. Pérdidas de peso durante la Lactación, %	191
Gráfico 5.13. Curva de alimentación cerdas nulíparas en gestación	194
Gráfico 5.14. Curva de alimentación cerdas múltiparas en gestación.....	194

Gráfico 5.15. Curva de alimentación cerdas en lactación	196
Gráfico 5.16. Coste alimentación por ciclo, del kilogramo de camada destetada, €/kg.....	197
Gráfico 5.17. Curva de crecimiento observada <i>versus</i> estimada	213
Gráfico 5.18. Curva de la evolución de la ganancia de peso estimada por el modelo.....	214
Gráfico 5.19. Curva del consumo de pienso medio diario estimado.....	214
Gráfico 5.20. Curva de reparto de la energía consumida en P (g) y L (g), en función del PV	215
Gráfico 5.21. Curva de la evolución estimada por el modelo de la P (kg) y L (kg) corporales en función de la edad, acumulada	218

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

- AG = Ácidos grasos.
- CMD = consumo medio diario.
- EB = energía bruta.
- ED = energía digestible.
- EM = energía metabolizable.
- EN = energía neta.
- ENm = energía neta de mantenimiento.
- EGD = espesor grasa dorsal.
- EGD_US = espesor grasa dorsal ultrasonidos.
- FHP = producción de calor en ayunas del cerdo.
- GMD = ganancia media diaria.
- GIM = grasa intramuscular.
- GIM_US = grasa intramuscular ultrasonidos.
- GIM H = grasa intramuscular de la materia húmeda.
- GIM MS = Grasa intramuscular de la materia seca.
- h^2 = heredabilidad.
- IC = Índice de conversión del pienso.
- Kp = eficiencia de utilización de EM para deposición proteica.
- Kf = eficiencia de utilización de EM para deposición grasa.
- L = grasa corporal.
- LD = deposición de grasa corporal.
- LYS DIS = lisina digestible ileal estandarizada.
- MS = materia seca.
- N = nitrógeno.
- P = proteína corporal.
- PB = proteína bruta.
- PB H = proteína bruta de la materia húmeda.
- PB MS = proteína bruta de la materia seca.
- PL = profundidad del lomo.
- PL_US = profundidad del lomo ultrasonidos.
- PD = deposición de proteína corporal.
- PDmax = deposición de proteína corporal máxima.
- PV = Peso vivo.

C 12:0 = ácido graso láurico.

C 14:0 = ácido graso mirístico.

C 16:0 = ácido graso palmítico.

C 17:0 = ácido graso margárico.

C 18:0 = ácido graso esteárico.

C 18:1n-9 = ácido graso oleico.

C 18:2n-6 = ácido graso linoleico.

C 18:3n-3 = ácido graso linolénico.

C 20:0 = ácido graso araquídico.

C 20:1n-9 = ácido graso eicosenoico.

n6/n3 = relación ácidos grasos omega-6 y omega-3.

SFA = suma de ácidos grasos saturados.

MUFA = suma de ácidos grasos monoinsaturados.

PUFA = Suma de ácidos grasos políinsaturados.

RESUMEN

La producción animal en estos días se enfrenta a grandes retos derivados de los elevados costes de producción y de un mercado cada vez más exigente. Que demanda mayor calidad en los productos de proteína de origen animal, y que esta, sea obtenida en condiciones de cría que garanticen el bienestar animal y la conservación del medio ambiente.

El trabajo realizado en la presente Tesis Doctoral está centrado en la investigación y el desarrollo, en condiciones de campo, de modelos matemáticos de selección genéticas y ajuste nutricional. Basados en los avances científicos de las últimas décadas para la optimización económica de las producciones ganaderas, y adaptados a la producción tradicional de porcino ibérico. Una producción de carne de alto valor gastronómico, llevada a cabo de forma sostenible en un entorno de alto valor ecológico como es la dehesa española.

Con respecto a la selección genética, el cerdo ibérico prácticamente ha llegado hasta nuestros días sin haber sufrido presión de selección, con lo que sus rendimientos productivos distan muchísimo de los de las razas comerciales. El modelo de selección genética desarrollado en el experimento 1 de esta tesis sirvió para modificar el patrimonio hereditario de las poblaciones en estudio de ibérico y duroc Templario™ para adaptarlas, de manera óptima, a los objetivos de producción del cerdo ibérico cruzado tradicional de “Cebo de Campo” y las exigencias del mercado. Elaborando protocolos de colección de datos de caracteres de interés, diseñando un índice de selección, controlando la consanguinidad y evaluando la mejora fenotípica de los caracteres: grasa intramuscular, magro, perímetro de la caña, reproductivos y homogeneidad morfológica. Observándose una tendencia positiva de mejora del % de grasa intramuscular durante el experimento, gracias a la selección de futuros reproductores mejorantes por índice de selección, ya que el % de grasa intramuscular representó el carácter con mayor peso dentro del objetivo de selección.

En cuanto a los modelos nutricionales de cerdas:

- En el experimento 2.1, se estudiaron los patrones de crecimiento y alimentación de la cerda ibérica, que sirvieron: a) para diseñar un programa de alimentación económicamente óptimo para un correcto desarrollo reproductivo y funcional; y b) como referencia para el ajuste de los patrones en gestación y lactación ciclo por ciclo.
- En el experimento 2.2, se estudiaron los patrones de cambios fisiológicos y alimentación de las cerdas en gestación y lactación, ciclo por ciclo, que sirvieron para: a) optimizar las pérdidas de peso en lactación; b) optimizar el peso de la camada destetada; y c) un programa de alimentación económicamente óptimo.

Se observó que la cerda es más eficiente entre los ciclos 3 y 5, produciendo el kilogramo de lechón destetado más barato de toda su vida productiva, a un promedio de 1,6 euros por ciclo (gestación + lactación). Hay que destacar también, que el promedio óptimo del índice de conversión de alimentación en kilogramos de camada producida de la cerda por ciclo (gestación + lactación), de los 7 ciclos del estudio, fue de 8,85 kg, que corresponde a un coste de 1,80 €.

Por último, el experimento 3 estudió los patrones de crecimiento y alimentación, y el efecto del sexo, el tipo de verraco finalizador, y el diferente contenido de aditivos antioxidantes en el pienso de acabado, sobre los rendimientos de parámetros zootécnicos, calidad de canal y la carne, de la progenie nacida en control genético desarrollado en esta tesis, de dos generaciones de verraco duroc Templario™ consecutivas, cruzados con la cerda ibérica Templario™ de la población fundacional, criados en categoría de “cebo de campo” de manera semiextensiva.

El patrón de crecimiento y alimentación obtenido aportó el conocimiento para el diseño de programa de alimentación económicamente óptimo para producir el kilogramo de carne más barato. Obteniendo un coste de alimentación de 169,08 €/animal. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) por efecto de la mejora genética verraco finalizador y el sexo en el % grasa intramuscular, cobertura grasa y profundidad del lomo, sin afectar significativamente ($p < 0,05$), a parámetros productivos ni de calidad de canal. Y se demostró que incluir vitamina E en el pienso de acabado combinada en sinergia con otros antioxidantes naturales (INGASO QTMEAT®) mostró un significativo ($p < 0,05$) efecto positivo en la oxidación lipídica de la canal, con especial interés en la protección de los ácidos grasos omega 3, con propiedades beneficiosas para la salud humana, en virtud de producir carne como alimentos funcionales.

SUMMARY

Animal production these days faces great challenges due to high production costs and an increasingly demanding market. The market demands higher quality products, obtained under farming conditions that guarantee animal welfare and environmental conservation.

The work carried out in this Doctoral Thesis is focused on investigate and development, in field conditions, genetic selection and nutritional adjustment mathematical models. Based on the scientific advances of the last decades for the economic optimization of livestock production and adapted to the traditional production of Iberian pigs. A meat production of high gastronomic value, carried out in a sustainable way in an environment of high ecological value such as the Spanish dehesa.

Regarding with genetic selection, the productive performances of the Iberian pig are far from those of commercial breeds. The genetic selection model developed in experiment 1 was used to adapt genetically the Iberian and duroc Templario™ populations to the optimal production objectives of a traditional iberian pig (50% duroc) raised outdoor. By implementing protocols for collecting data on traits of interest, designing a selection index, controlling inbreeding and evaluating the phenotypic improvement of traits: intramuscular fat, lean, leg cane perimeter, reproductive, and external homogeneity. During the study, a trend of improvement in intramuscular fat expression was observed, thanks to the selection of the best breeders by their selection index.

As for the sow nutritional models:

- In experiment 2.1, the growth and feeding pattern of the Iberian gilt were studied, which was used: a) to design an economically optimal feeding program for its correct reproductive and functional development; and b) as a reference for the adjustment of the patterns in gestation and lactation cycle by cycle.
- In experiment 2.2, the patterns of physiological changes and feeding of sows in gestation and lactation were studied on a cycle-by-cycle basis to: a) optimize lactation weight losses; b) optimize weaned litter weight; and c) an economically optimal feeding program.

It was observed that the sow is most efficient between cycles 3 and 5, producing the cheapest kilogram of weaned piglet in her entire productive life, at an average of 1,6 euros per cycle (gestation + lactation). It should also be noted that the optimal average feed conversion rate, translated in kilograms of litter produced by the sow per cycle (gestation + lactation), of the 7 cycles of the study, was 8,85 kg, with a cost of 1,80 €.

Finally, experiment 3 studied the growth and feeding patterns, and the effect of sex, terminal boar, and content of antioxidant additives in the finishing feed, on the performance, carcass and meat quality parameters, of the progeny born in genetic control developed in this thesis, of two consecutive generations of Templario™ duroc boars, crossed with the iberian Templario™ sow of the foundational population, reared in outdoor conditions. The growth and feeding pattern obtained provided the knowledge for the design of an economically optimal feeding program to produce the cheapest kilogram of meat. Obtaining a feeding cost of 169.08 €/animal. Significant differences ($p < 0.05$) were found for effect of the genetic improvement of the terminal boar and sex on the % intramuscular fat, fat cover and loin depth. Without significantly affecting ($p < 0.05$) the performance or carcass quality. And also, it was demonstrated that including vitamin E in the finishing feed combined in synergy with other natural antioxidants (INGASO QTMEAT®) showed a significant positive effect ($p < 0.05$) on carcass lipid oxidation, with special interest in the protection of omega 3 fatty acids, with beneficial properties for human health, with aim of producing meat as functional food.

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- Situación actual del “subsector” porcino ibérico

El ganado porcino constituye una fuente de proteína para la especie humana y su carne es la más consumidas por la población española, la segunda tras el pollo, sin incluir los transformados.

Desde tiempos prehistóricos, el hombre empezó a consumir la carne que obtenía de las especies que cazaba. Las pinturas rupestres son un claro ejemplo de representación gráfica en rocas y cavernas del comportamiento de los primitivos en las que se reflejan escenas de la vida social, entre las que se encuentran las de capturas y caza de algunos animales. Entre las principales figuras presentes en estos grafos, se encontraban imágenes de bisontes, caballos, mamuts, ciervos y renos heridos con flechas. Con el tiempo, dentro aún de la antigüedad más remota, se tiene constancia también a través de muestras gráficas que el hombre llegó a tener algunos animales confinados para reproducirlos en cautividad. Había nacido la ganadería. La evidencia arqueológica sugiere que los cerdos fueron domesticados a partir del jabalí. Los primeros restos paleontológicos encontrados en Europa corresponden al Pleistoceno medio, en el que se produjeron tres procesos independientes de domesticación, uno en Europa a partir del *Sus scrofa*, hace entre 8.000-9.000 años, y dos más en Asia a partir de otras subespecies *Sus vittatus*.

Gran parte de las razas porcinas que predominan hoy día, proceden todas del género «Sus» y engloban a la asiática *Sus vittatus*, a la descendiente del jabalí salvaje euroasiático *Sus scrofa* y la que engloba al tronco del cerdo ibérico *Sus mediterraneus*, de procedencia africana, Figura 1.1.

Figura 1.1. Cerdo ibérico (hembra)



Fuente: Elaboración propia.

El ganado porcino es uno de los pilares del sector ganadero español, representando más del 38 % de la producción final ganadera y más del 15 % de la producción final agraria y con una facturación de alrededor de 8.000 millones de euros que, junto con el sector industrial de transformación, representa un 2 % del producto interior bruto español. La industrialización del porcino en España ha generado por un lado la implantación de una gran red de fábricas de piensos para abastecer el alimento para el mantenimiento y producción de los cerdos, y por otro lado una gran red industrial de carne fresca, productos curados y transformados (Subdirección general de producciones ganaderas y cinegéticas, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020).

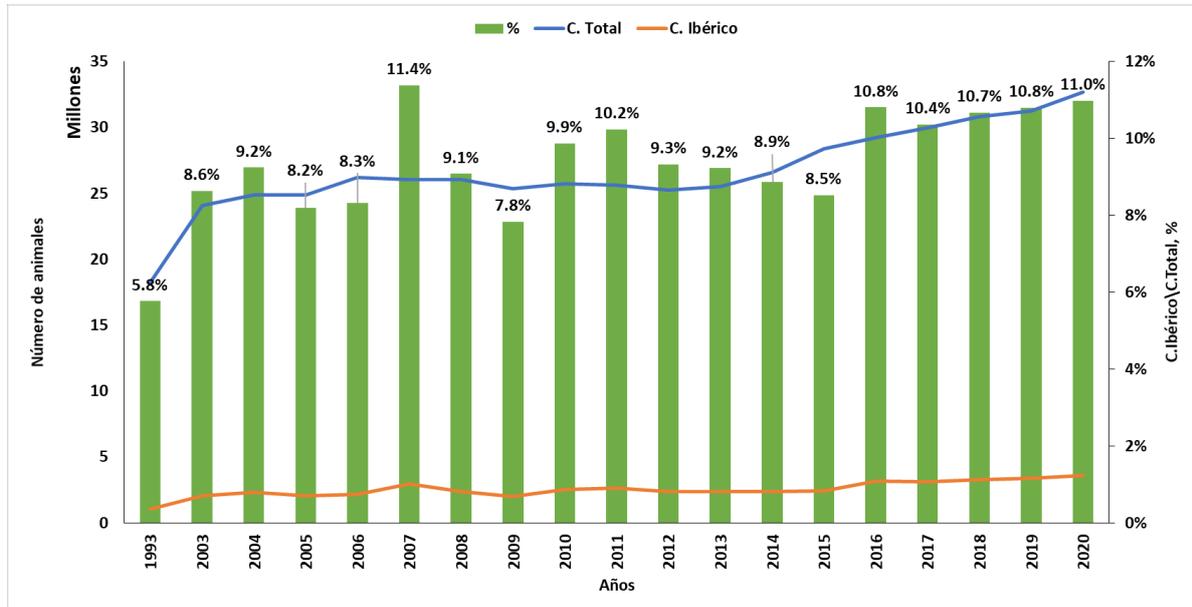
La cifra de consumo de carne de cerdo en los hogares españoles es muy importante, durante el año 2019 más de 444 millones de kilos de carne fresca y 526, 382 millones de kilos de carne transformada en total (Subdirección general de producciones ganaderas y cinegéticas, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020).

Tradicionalmente el cerdo ha sido el principal proveedor de proteína en nuestro país. Cada región ha tenido y producido sus propias razas que, aunque en algunos casos llegaron casi a desaparecer, hoy se han ido recuperando gracias a la iniciativa de ganaderos involucrados, contando con el apoyo de las administraciones públicas.

Los datos provisionales de la encuesta de sacrificio del MAPA relativos al año 2020 sitúan la producción de carne de cerdo en España, nuevamente, en cifras récord, con más de 56,4 millones de animales sacrificados y unos 5 millones de toneladas de carne producida, cifras que nos mantienen en la cuarta posición mundial, tan solo por detrás de China, Estados Unidos y Alemania. Durante el año 2020 la producción ha crecido en torno a un 8,2 % en toneladas y un 6,5 % en número de cabezas, manteniendo la tendencia alcista del año anterior. Dentro de la Unión Europea, España se mantiene en segunda posición, con un 21,8 % de la producción comunitaria, muy ceca de Alemania, que se mantiene en primer lugar con un 22% de la producción de la UE (Subdirección general de producciones ganaderas y cinegéticas, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2021).

El censo total de porcino en España en diciembre de 2020, Gráfico 1.1, fue de 32.676.652 animales en total de los cuales un 11 % pertenecían a porcino ibérico.

Gráfico 1.1. Evolución del censo de ganado porcino y del censo de porcino ibérico



Nota: desde el año 2009 se realizan dos encuestas anuales referidas a los meses de mayo y noviembre.

Fuente: S.G. Análisis, Coordinación y Estadística (MAPA).

Elaboración: S.G. Productos Ganaderos (MAPA).

El sector del porcino ibérico español es el subsector ganadero con una mayor proyección a futuro de la ganadería diferenciada, en base a la calidad de sus productos. España, por otro lado, ocupa uno de los primeros lugares a nivel mundial de consumo aparente *per cápita* de carne de cerdo en general, con 54,6 kg por habitante y año, por detrás de países como Dinamarca y Hong Kong, con 69,8 y 67,5 kg de carne consumidos respectivamente, y por delante de países como Austria y Alemania con 53,5 y 48,20 kg de carne consumidos y, en particular, prácticamente de toda la producción de cerdo ibérico (Interporc 2019, a partir de USDA, FAO, MAPA, FMI y otras fuentes).

La crianza del cerdo ibérico ha estado ligada de forma tradicional a la dehesa. Este ecosistema mediterráneo proporciona los recursos necesarios para la alimentación de estos animales en base a hierba y bellota y genera la máxima calidad de sus productos. No obstante, la producción tradicional representa sólo el 15,7 % del censo total de cerdos ibéricos (MAPAMA, 2016) acogidos a la Norma de Calidad de esta Raza según el RD 4/2014, en la que se establecen las características de calidad que deben reunir los productos procedentes del despiece de la canal de animales porcinos ibéricos, que se elaboran o comercializan en fresco, así como el jamón, la paleta y la caña de lomo ibéricos elaborados o comercializados en España.

1.2.- Homogeneidad y trazabilidad del producto

En cualquier sistema de producción agroalimentaria es necesario ofrecer al mercado un producto de la mayor homogeneidad posible para generar satisfacción y confianza del consumidor; la homogeneidad del producto supone que no existen diferencias entre el producto que se vende de una partida a otra. Mediante un programa de selección genética cuya prioridad sea la producción de animales lo más homogéneos genéticamente entre ellos y estableciendo unas pautas de cría estandarizadas de manejo, alimentación y sanidad se obtendrá un producto final de mercado homogéneo partida tras partida.

La estandarización de los productos, o sea su clasificación y descripción según su calidad y sus características, es un instrumento de singular importancia para que funcionen mejor los mercados, para satisfacer adecuadamente las necesidades y preferencias de los consumidores, para estimular la inversión y el esfuerzo de los productores y para ampliar el consumo. Adecuarse a ella es además un requisito sine qua non para participar en los mercados internacionales.

El crecimiento del comercio internacional hace posible el acceso a productos de todo el mundo, sobre todo en las zonas urbanas bien comunicadas y propicia la estandarización de los gustos de los consumidores, apareciendo una convergencia hacia las modalidades alimentarias de EEUU y de la UE y una occidentalización de las dietas de los países asiáticos (Schulep, 2005).

El sector de productos ibéricos en la actualidad se caracteriza por presentar productos heterogéneos al mercado con la desconfianza que genera esto en el consumidor a la hora de adquirir una pieza. En la actualidad se presenta la oportunidad de mejora con el objetivo de homogeneizar tanto en formato como en composición los productos ganaderos vía mejora genética y un conocimiento preciso de las necesidades nutricionales de los animales, buscando la máxima calidad y monitorizando los animales desde el mismo momento de su nacimiento.

Las diferentes crisis alimentarias que hemos vivido en años pasados han ocasionado un importante cambio de actitud de los consumidores europeos. Poner a su disposición alimentos sanos y seguros, es la primera condición para mantener su confianza. Para poder acreditar estas garantías es necesario disponer de mecanismos de trazabilidad de la producción primaria que aseguren un control integral de la cadena desde la granja a la mesa.

La Asociación Interprofesional del Cerdo Ibérico (ASICI) presenta el sistema de trazabilidad mediante precintos de Norma de Calidad con el que se comercializan los jamones ibéricos, y que permiten al consumidor elegir su ibérico conforme a las diferentes categorías de calidad gracias a la información que aporta. Un sistema de identificación que garantiza que la pieza es efectivamente ibérica e indica el tipo de alimentación y manejo que ha tenido el cerdo y la raza de éste. El sistema de precintos es una apuesta del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) y del sector

ibérico para el control de la trazabilidad y la transparencia en sus producciones, con el objetivo de ofrecer al consumidor las máximas garantías de seguridad y calidad (RD, 4/2014).

1.3.- Necesidad de una producción diferenciada

Frente a la estandarización actual y a la alta competitividad de los mercados, aquellas empresas que sean capaces de desarrollar productos diferenciados podrán disfrutar de una mejor posición de mercado frente a sus competidores y de cara a sus consumidores. Para éstos, la diferenciación puede generar un mayor grado de satisfacción y confianza. Por otra parte, la utilización de determinados elementos o signos de diferenciación pueden reforzar y mejorar el conocimiento del producto (Yagüe, 1996; Trijp, 1997).

Por ello la alternativa para obtener un producto ganadero de calidad homogéneo y diferenciado del estándar convencional será mediante el desarrollo de unos programas de selección genética, cría, manejo, alimentación y sanidad específicos y diferenciados de los demás.

El reto de ofrecer un producto diferenciado con estándar de calidad requiere que el proceso de producción y distribución debe ser cuidado en todo momento, resultando de gran importancia un esmerado proceso de valoración y selección de los proveedores, cuidando muchos factores como pueden ser: las características genéticas de los animales, las materias primas de la alimentación de los mismos, el proceso de cría, el proceso de elaboración del producto cárnico elaborado final, e incluso, las estrategias de comercialización.

El contexto actual presenta una doble dimensión desde el punto de vista del mercado. Por una parte, los mercados son cada vez más abiertos y competitivos, con menores restricciones a la entrada de productos procedentes de terceros países, en los que los costes de producción son muy inferiores a los europeos (Cambra y Villafuerte, 2009). Y por otra, los grandes grupos industriales buscan una estandarización del consumo y formatos de distribución tipo *discount* y *hard discount*, así como las marcas de distribución, alcanzando sorprendentes cuotas de mercado y desbancando, en algunas categorías, a las marcas más reconocidas (Cambra y Villafuerte, 2009).

Por otro lado, el actual escenario de pandemia y la crisis provocada por el Covid-19 ha incrementado el sentido de pertenencia y de colaboración, que puede traducirse, ahora y también cuando todo pase, en un mayor apoyo al comercio y producción local, ofreciendo una oportunidad a la recuperación de los productores locales con una dinamización de los productos de proximidad.

En este nuevo escenario aparece también una cierta demanda proveniente de consumidores que apuestan por productos de calidad, observando el precio como algo secundario. Por ello, determinadas empresas apuestan por satisfacer esta tendencia, distinguiendo sus productos en base a la calidad, la imagen y gozando de precios algo más elevados. Esta apuesta por la calidad y al valor es especialmente

importante para la viabilidad de empresas ubicadas en países con estructuras de costes superiores, mientras que las empresas en países que soportan estructuras de costes menores podrían apostar más decididamente por desarrollar ventajas competitivas en precios (Van Ittersum *et alii*, 2003).

2.- ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL

2.1.- Particularidades del sistema de producción del cerdo ibérico

La raza porcina ibérica es una raza autóctona, descendiente del tronco *Sus mediterraneus*, alejada tanto fenotípicamente como en parámetros productivos, metabólicos y reproductivos de otras razas de producción porcina, descendientes del tronco *Sus scrofa*, *striatosus* y *eusus*. Además, el cerdo ibérico ha sido objeto de escasa selección genética y muestra una fuerte influencia del manejo en extensivo en que ha sido mantenido tradicionalmente.

El cerdo ibérico presenta un genotipo de carácter ahorrador, con una elevada capacidad de adaptación al medio según épocas de abundancia o escasez, la cerda ibérica es capaz de realizar una programación prenatal según el acceso a alimento que tenga en cada momento, observándose importantes diferencias en la progenie de hembras alimentadas con niveles de nutrientes adecuados y bajo un déficit de éstos (González-Bulnes *et al.*, 2012; Óvilo *et al.*, 2014b) y, como consecuencia, cuando el cerdo ibérico dispone de alimento tras un periodo de escasez, tiende a un crecimiento rápido y a la acumulación de grasa como reservorio energético. Además de la elevada acumulación grasa, el cerdo ibérico se caracteriza por presentar una baja acumulación proteica, si la comparamos con razas comerciales (Barea *et al.*, 2007).

Tradicionalmente la producción del cerdo ibérico ha estado ligada a los sistemas de producción extensivos y al ecosistema de la dehesa. Existía cierta sincronía entre las necesidades de los animales en cada etapa productiva y los recursos disponibles, resultando de una producción sostenible, extensiva y con mínimo aporte de alimento suplementario (grano de cereales) (Andrada *et al.*, 2002).

La dehesa es un ecosistema que constituye un ejemplo de óptima convivencia del hombre con el medio ambiente, modelo de una gestión sostenible en la que se utilizan los recursos que ofrece la naturaleza sin descuidar su conservación. La intervención del hombre sobre las masas forestales ha originado un agrosistema caracterizado fundamentalmente por formaciones arboladas abiertas con aprovechamiento mixto agrícola, forestal y ganadero.

Entendemos por dehesa o sistema adehesado, al sistema de uso y gestión de la tierra basado en el aprovechamiento principalmente ganadero y también forestal, cinegético y agrícola, de una superficie de pastizal y monte mediterráneo con presencia dispersa de vegetación arbórea, el cual da lugar a un agrosistema en el que la conjunción del manejo agrosilvopastoral propicia importantes valores ambientales como un uso sostenible del territorio, un paisaje equilibrado y una elevada diversidad a distintos niveles de integración.

La mayor extensión de dehesa se localiza en el suroeste de la península ibérica, y abarca alrededor de 4 millones de hectáreas en España, de las comunidades autónomas de Andalucía, Castilla La Mancha, Castilla y León, Extremadura y Madrid, y alrededor de 1 millón en Portugal (allí conocida como

montado). Este bosque mediterráneo se compone de numerosas especies arbóreas del género *Quercus* (fundamentalmente *Q. rotundifolia*, *Q. ilex* o encina, *Q. suber* o alcornoque, *Q. lusitanicus* o quejigo), de las que se obtiene la bellota; fruto de gran importancia en la producción porcina ibérica. La bellota, junto con la hierba y otros recursos propios de la dehesa, es la fuente de alimento principal para el cerdo criado exclusivamente en extensivo o finalizado en montanera.

Hasta hace pocas décadas su producción se circunscribía casi exclusivamente al suroeste de la Península Ibérica. Sin embargo, los últimos 30 años han traído una expansión de la producción de cerdo ibérico por toda España y su adaptación a la cría en intensivo (INIA, 2011), siendo hoy en día minoritaria la producción tradicional en extensivo. En los últimos años se ha generalizado la producción de cerdo ibérico en intensivo a lo largo del territorio español, y actualmente representa el 65,15% del censo total.

Entre los diferentes sistemas característicos de producción de porcino ibérico podríamos determinar los siguientes modelos productivos de cerdo ibérico:

- Recría de futuros reproductores: se aplica a aquellos animales que se crían de forma específica para la reproducción. En su etapa de crecimiento se alojan en un entorno con acceso al aire libre y con espacio para caminar, donde realizan ejercicio para fortalecer su aparato locomotor. Su alimentación es la necesaria para cubrir las necesidades nutricionales de mantenimiento y crecimiento que les permita alcanzar un desarrollo muscular, graso y esquelético adecuado para afrontar con éxito una larga vida reproductiva.
- Recría de primales: se aplica a los animales que se crían y preparan en la fase de crecimiento, entre los 45-50 kg hasta los 100-110 kg de peso vivo (PV), con una edad de 105-110 y 360-365 días respectivamente, para llevar a cabo la montanera en su etapa de acabado. Durante esta etapa se alojan en un entorno con acceso al aire libre y con espacio para caminar, para fortalecer su aparato locomotor y se alimentan con piensos compuestos de manera controlada o con los recursos que ofrezca la dehesa, según la época del año y la disponibilidad de alimento de esta, para cubrir las necesidades de mantenimiento y de un crecimiento limitado.

Y amparados por la norma de calidad los relativos a las diferentes categorías de producto (“Norma de calidad para la carne, el jamón, la paleta y la caña de lomo ibérico” aprobada por el Real Decreto 4/2014, posteriormente modificada y aprobada por el Real Decreto 255/2016):

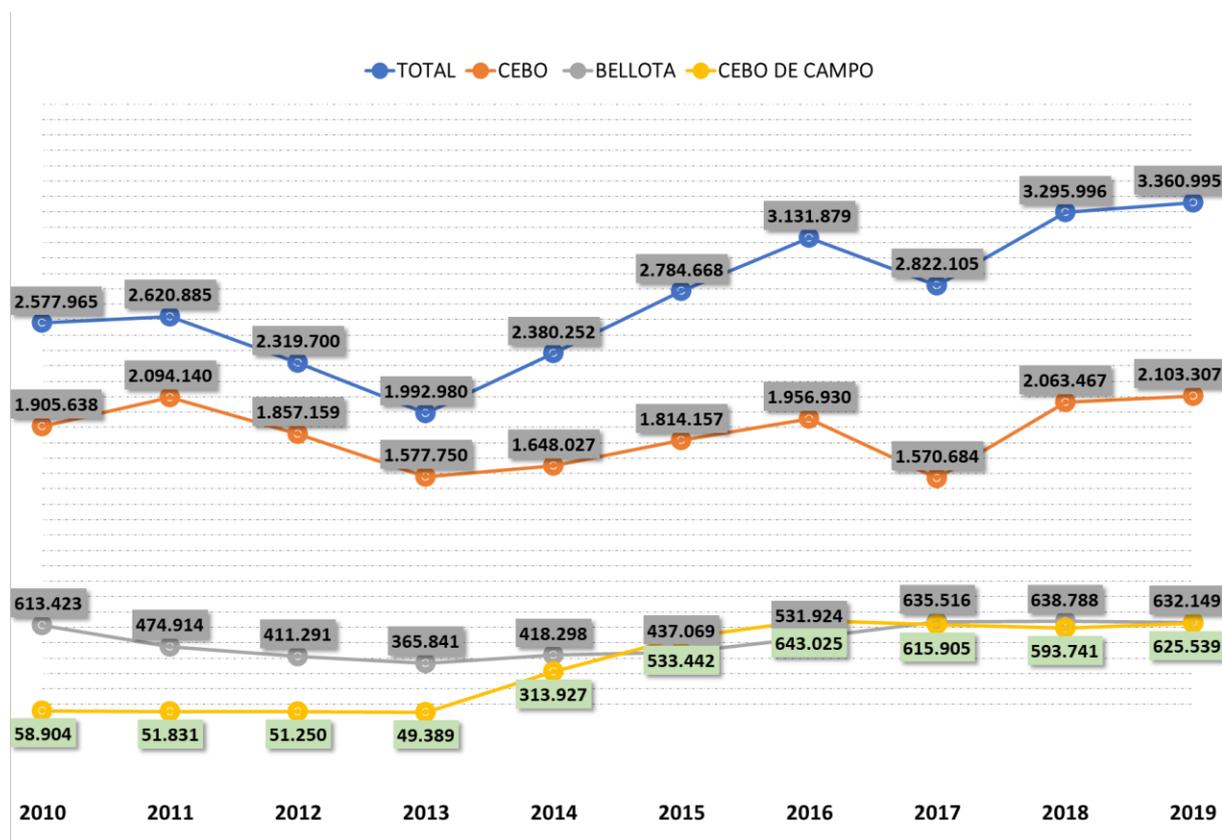
- Cerdo ibérico de bellota: todos aquellos animales mantenidos con alimentación exclusiva con bellota, hierba y otros recursos obtenidos de su manejo en extensivo en ecosistemas de dehesa en su fase de acabado. Cuyo peso mínimo de la canal al sacrificio tiene que ser de 108 kg en individuos 100% ibéricos y 115 en ibéricos y una edad mínima de 14 meses.
- Cerdo ibérico de “Cebo de Campo”: todos aquellos animales que se han alimentado en parte de los recursos propios de la dehesa y en parte con piensos compuestos. La explotación puede realizarse en extensivo o en intensivo al aire libre. El peso medio de la canal al sacrificio para estos animales, con una edad mínima de sacrificio de 12 meses, debe ser de 108 kg y en animales 100% ibéricos y 115 kg en animales ibéricos. Los animales se cebarán en explotaciones de cebo extensivas o en explotaciones de cebo en instalaciones intensivas al aire libre pudiendo tener parte de la superficie cubierta, debiendo cumplir los requisitos establecidos en el Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas. En lo que hace referencia a las condiciones de cría, sin perjuicio de lo establecido en el Real Decreto 1135/2002, de 31 de octubre, relativo a las normas mínimas para la protección de cerdos, los animales de producción de más de 110 kilos de PV deben disponer de una superficie mínima de suelo libre total por animal de 100 m²., en su fase de cebo. La estancia mínima en dichas explotaciones, previa a su sacrificio, será de 60 días.
- Cerdo ibérico de “Cebo”: todos aquellos animales que se han criados en sistemas de explotación intensiva alimentados a base de piensos compuestos. En este caso, la edad mínima para el sacrificio desciende a 10 meses, siempre y cuando cumpla con los pesos mínimos de la canal a sacrificio, que de nuevo será de para animales 108 kg en animales 100% ibéricos y de 115 kg en ibéricos. Por otro lado, los animales de producción de más de 110 kilos de PV que den origen a productos con la designación «de Cebo» deben disponer de una superficie mínima de suelo libre total por animal de 2 m²., en su fase de cebo.

El tipo racial que abarca la posibilidad de producir será:

- 1) Cerdo ibérico puro, cerdos de pureza racial ibérica 100 % e inscritos en el libro genealógico oficial.
- 2) Cerdo ibérico al 50 % de raza ibérica, procedentes obligatoriamente del cruce de una madre 100 % raza pura e inscrita en el libro genealógico oficial, y un padre 100 % raza duroc inscrita en el libro genealógico oficial.
- 3) Cerdo ibérico 75 % raza ibérica, procedentes obligatoriamente del cruce de una madre 100 % raza pura e inscrita en el libro genealógico oficial, y un padre 50 % raza ibérica.

El Gráfico 2.1 presenta la evolución del número de animales producidos de cerdo ibérico en el tiempo en sus diferentes categorías.

Gráfico 2.1. Evolución de censos, número de animales producidos de cerdo ibérico, según categorías, desde 2010 hasta 2019



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (RIBER).

2.2.- Genética.

2.2.1.- Programas de mejora genética, “Modelo Animal”

Un programa de mejora genética es la combinación de registro de caracteres seleccionadas, la estimación de valores genéticos, la selección del potencial de progenitores y un programa de cubriciones para la selección de reproductores apropiada (Groen, 2014).

Los programas de mejora genética comienzan a establecerse a través de modelos matemáticos para la evaluación de reproductores plenamente en los años 40 del siglo pasado. A partir de esta metodología se desarrollan en los años 50 los métodos de estimación de componentes de la varianza (Henderson, 1953; Harvey, 1960); se empiezan a describirse parámetros genéticos como la heredabilidad (h^2) entendida como la parte de la variabilidad de un carácter que se debe exclusivamente a los genes que tiene el animal; y se comienza a hacer un análisis estadístico de las variaciones fenotípicas en las poblaciones, utilizando los estimadores estadísticos habituales como la varianza, la desviación típica y la media, y utilizando las correlaciones entre valores genéticos y valores fenotípicos de distintos caracteres, tratando de entender las relaciones entre caracteres y establecer así un sentido de selección correcto. También se desarrollan los BLP (*Best Linear Predictors*, la mejor estimación lineal) para evaluar reproductores, como índice de selección intrarebaño, efectuando pruebas de descendencia expresadas como desviaciones de las medias de contemporáneas, que de manera estricta un animal sólo se podría comprar con los procedentes de su misma población.

Los parámetros genéticos descritos, h^2 y correlaciones genéticas y fenotípicas, r_g y r_p :

h^2 representa de manera predictiva el grado en que el valor fenotípico proporciona una indicación fiable del valor mejorante y se define como el cociente entre la varianza genética aditiva (σ_A^2) y la varianza fenotípica (σ_p^2) (Falconer y Mackay, 1996). Donde, la varianza mide y expresa la cantidad de variación: cuando los valores se dan como desviaciones de la media de la población, la varianza es simplemente la media de dichos valores al cuadrado (Falconer y Mackay, 1996). Es frecuente que un único gen afecte a más de un carácter. Cuando los caracteres son cuantitativos (es decir, determinados por muchos genes y muchos factores no genéticos), el grado en el que dos caracteres están determinados por el mismo número de genes recibe el nombre de correlación genética, r_g . Otra medida de la asociación entre dos caracteres es la correlación fenotípica, r_p , que es la correlación entre el valor en cada carácter; refleja el grado en que el valor en un carácter está asociado con el valor en el otro carácter.

Sin embargo, todo este desarrollo de modelos cada vez más avanzados chocaba con la capacidad limitada de análisis que va ligado al desarrollo de concepciones cada vez más complejas. Es por ello por

lo que el avance de la mejora genética viene de la mano del desarrollo de la informática. En los años 70, los modelos estadísticos avanzan y se hacen cada vez más sofisticados para la estimación del mérito genético de los candidatos a reproductores mejorantes. Pero siguen siendo modelos válidos para animales contemporáneos, criados en las mismas condiciones ambientales y nutricionales y emparentados de forma directa. En un tiempo en el que comienzan a moverse animales y sus productos biológicos (semen, ovocitos o embriones) por todo el mundo. Por tanto, se pierden muchos datos de las genealogías porque es imposible comparar un animal criado en Canadá con uno criado en España; entonces para superar este controvertido problema, Henderson (1973) desarrolló el llamado método BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*, la mejor predicción lineal insesgada), segunda generación de los BLP y método de evaluación genética animal más extendido en todo el mundo; BLUP tiene en cuenta cualquier factor de sesgo que pueda haber en cada animal, se tienen en cuenta por primera vez los cruzamientos dirigidos (el BLP suponía reproducción en panmixia) y esto permite compara animales de cualquier generación, aunque no tenga rendimientos medidos y teniendo en cuenta cualquiera de sus parientes, no solo los más cercanos. Mejora la estimación de reproductores ya que se pasa de disponer de miles de datos en el mejor de los casos a millones de datos acumulados que evalúan a cada animal (Muñoz Luna, 2006). El método BLUP ha contribuido a la rápida expansión de la inseminación artificial, la de los programas de pruebas de descendencia en campo, los avances en estadística y en informática. Y seguido de su cálculo por el método REML (*Restricted Maximun Likelihood*, máxima verosimilitud restringida) de Patherson y Thompson (1971) y su modificación DF-REML de Meyer (1991) que influyó en dos cosas: 1) la aplicación del REML para la estimación de parámetros genéticos (heredabilidades y correlaciones genéticas) a partir del análisis de componentes de varianzas y covarianzas, se ha considerado como el método más eficiente en el manejo de datos de cría de animales, que suelen estar desequilibrados y además suelen estar afectados por la selección, produciendo estimaciones sesgadas graves; y 2) porque cuando se aplicó REML a las valoraciones genéticas BLUP de reproductores, cambió drásticamente durante la década de los 90 el manejo de la metodología de los modelos mixtos animales.

En base a las herramientas de evaluación genética, el esquema de un programa de mejora genética de porcino se puede presentar hoy de manera circular como el propuesto por Groen (2014), Figura 2.1, donde de manera general se basa en el hecho que los caracteres de los progenitores se transmiten a su descendencia. Esto se debe al hecho de que los caracteres son más o menos heredables y que el 50 % del ADN, que comprende la capacidad hereditaria de los caracteres de un animal, se transmite de cada padre a su descendencia. En genética animal, los progenitores potenciales se seleccionan para ciertos caracteres y los mejores son usados como progenitores. De este modo, la siguiente generación será genéticamente superior para los caracteres deseados. Y así sucesivamente, generación tras generación. Para cada generación, el programa empieza formulando el objetivo de selección y finaliza con una

evaluación crítica de resultados de la siguiente generación (progreso genético). Esta evaluación hace que pueda ser reconsiderados los objetivos de selección para la siguiente ronda de selección.

Figura 2.1. Esquema del programa genético circular (Groen, 2014)



Con el fin de seleccionar individualmente animales candidatos según el “objetivo de selección”, es necesario comprender el valor relativo de cada carácter en un único criterio de selección. El valor de este criterio puede ser obtenido de la suma del valor genético para carácter multiplicado por un factor de ponderación económica, basándose en la relevancia de ese carácter en el “*objetivo de selección*” (Groen, 2014).

El cálculo del valor genético de cada individuo se realiza mediante el modelo animal o índice de selección, que es un modelo estadístico que combina la información de fenotipos de animales y sus parientes mediante una regresión lineal múltiple para obtener una mejor estimación del valor genético de cada individuo, con el modelo animal no es necesaria la información fenotípica de cada animal para la estimación del valor genético, pero si tienes la información fenotípica completa, la extra información en animales relacionados aumenta la precisión en la estimación de los valores genéticos. Existen índices de selección para un carácter,

$$a = b'y + e$$

(Blasco, 2021)

donde,

a: valor aditivo del individuo.

b': matriz de coeficientes de regresión

y: matriz de datos $y = [y_1, y_2, y_3, \dots]$ (información de caracteres para valorar).

e: matriz de factores aleatorios ambientales.

O para varios caracteres, mediante la introducción en el modelo una función de beneficio, ya que la producción de los animales no depende de un solo carácter habitualmente sino de una combinación de ellos. Valorando económicamente los caracteres podemos predecir el beneficio que pueden producir los descendientes de un individuo, y definir los objetivos de selección basados en el beneficio que esperamos que nos den los hijos del individuo seleccionado. La función de beneficios es entonces una función lineal solo de caracteres, multiplicados por sus pesos económicos,

$$B = w_1y_1 + w_2y_2 + w_3y_3 + \dots + w_ny_n \quad (\text{Blasco, 2021})$$

donde,

B es el valor del beneficio.

w_n son los pesos económicos.

y_n es el valor de cada uno de los caracteres.

Y con la que se construye el índice de selección de n caracteres, de importancia económica decisiva en la producción, este índice debe predecir n valores aditivos. Pero con un número único para cada animal para poder realizar selección, por lo que se tomará una combinación de los valores aditivos que produzca un beneficio máximo, a la que se llamará valor aditivo económico,

$$a_E = w_1a_1 + \dots + w_na_n = \mathbf{w}'\mathbf{a} \quad (\text{Blasco, 2021})$$

Por otro lado, el BLUP, es un índice de selección con datos corregidos por sus medias, que estima el valor genético d cada individuo, separándolo de otros factores que influyen en el rendimiento fenotípico, es un modelo animal mixto, con una componente de efectos fijos b, y otra con efectos aleatorios a, que es capaz de separar las causas ambientales de las genéticas.

$$Y = Xb + Za + e \quad (\text{Blasco, 2021})$$

donde,

(Y) sería el rendimiento de un carácter o la matriz de rendimiento de varios caracteres, los efectos fijos (b), que son los parámetros tales con el sexo, la granja, y el año, efectos aleatorios (a), son el valor genético, que se supone una variable aleatoria, extraída o diseñada sobre una población con distribución normal. Esta población tiene dos parámetros de interés, la media y la varianza (la varianza genética aditiva) y la componente o término residuo, que es la razón por la que dos hipotéticos cerdos que tengan mismos efectos fijos y el mismo valor genético aditivo puedan tener, sin embargo, distintos rendimientos fenotípicos, se llama también "error" (e) del modelo.

El método BLUP abre la posibilidad de trabajar con programas de selección interracial, que abre las puertas para estudiar el fenómeno de heterosis y la complementariedad del cruzamiento duroc x ibérico. Los programas de selección interracial implican tanto selección como cruzamientos sistemáticos: Se denominan cruzamientos a los apareamientos entre poblaciones distintas (estirpes, razas o especies). Y cruzamientos sistemáticos cuando se repite el mismo cruzamiento de forma regular con el fin de producir un determinado tipo de descendencia, estos pueden ser ventajosos desde dos puntos de vista, a) efecto de la heterosis o vigor híbrido (acción genética no aditiva) para ciertos caracteres. Hablamos de heterosis cuando el rendimiento promedio de la descendencia cruzada es superior al rendimiento promedio de los dos progenitores y b) efecto de la complementariedad, que es la forma en que dos caracteres se complementan entre sí, como, por ejemplo, considerando dos poblaciones de cerdos, una de ellas (A) con alto % GIM, pero con pequeño tamaño de camada, y otra (B) con un % GIM bajo, pero con un tamaño de camada grande. El cruce entre ambas poblaciones aun cuando no haya heterosis entre los caracteres descritos, es decir, aunque el rendimiento promedio de los cerdos cruzados sea exactamente el intermedio entre las dos poblaciones parentales, el beneficio global de esta operación particular seguiría siendo más beneficioso que criar solamente las poblaciones A o B (Nicholas, 1996).

Y el hecho de que los caracteres que muestran mayor depresión por consanguinidad son aquellos que muestran mayor heterosis cuando se cruzan poblaciones distintas, hace aún más interesante el aprovechar lo mejor de ambos fenómenos implicados en un programa de selección interracial, explotando los efectos génicos aditivos dentro de cada población (a través de la selección) y los efectos génicos no aditivos (a través de la heterosis), junto con los efectos génicos aditivos entre poblaciones (a través de la complementariedad). Un punto importante para destacar que los programas interracial con cruzamientos sistemáticos sólo se pueden tener lugar si alguien mantiene y mejora las poblaciones puras. Por lo tanto, más que presentar una amenaza a los criadores de animales de raza, los cruzamientos sistemáticos les proporcionan un incentivo. (Nicholas, 1996). En el caso que nos ocupa, necesitaremos de un mayor número de generaciones y un mayor número de datos para poder aplicar con éxito esta metodología.

En los programas de selección interracial se establecen tres grupos de características susceptibles de seleccionar (Muñoz Luna, 2006):

- Caracteres reproductivos: éstos serán fundamentales en cerdo ibérico puesto que, al ser una raza rústica, los rendimientos reproductivos suelen ser muy inferiores a lo que estamos acostumbrados a manejar en las razas blancas. Además, se trata de la línea maternal a utilizar en la producción de cerdo ibérico.

- Caracteres productivos: son aquellos que van a tener el mayor impacto en la producción, ya que constituyen un porcentaje muy alto del coste de producción. Los dos parámetros más representativos serían la ganancia media diaria de peso (GMD) y el índice de conversión del pienso (IC), aunque adaptados a la realidad productiva de la Montanera o del Cebo de Campo.
- Parámetros relacionados con la canal y la calidad de carne: Estos parámetros son fundamentales ya que son los que evaluará directamente el consumidor. Una de las características diferenciales del ibérico es la capacidad de infiltración grasa, lo que influye en la calidad de carne, aportando ternera, jugosidad e incluso *bouquet* y sabor. Esta característica fenotípica será deseable en los animales que vayan a producir tanto carne fresca como procesada.

Finalmente, la biología molecular viene a complementar a la genética cuantitativa, entendida como aquella que busca directamente en la secuencia del ADN o el los transcritos de ARN de un animal para entender cuál/es de ellos produce mejor y porqué. Y así poder seleccionarlos directamente. Comienza por tenerse la noción de QTL (Quantitative Trait Loci) que es sólo una asociación estadística entre una región del genoma y un carácter. Efectivamente, se trata de zonas del ADN que están relacionadas con un carácter cuantitativo y a su vez ligadas a un marcador molecular tipo microsatélite o SNPs (*single nucleotide polymorphisms*; mutaciones puntuales) y que se heredan juntos. Por tanto, determinando que alelos del marcador están presentes en animales con producciones superiores, podremos seleccionar en base a esos marcadores. Pero esto, que parecía la muerte de la genética cuantitativa se ha revelado extremadamente complicado; para un mismo carácter pueden existir innumerables QTLs y no constantes en todas las razas de una misma especie, e incluso dentro de poblaciones de una misma raza. Por poner un ejemplo, en el cerdo para un carácter de suma importancia como la GMD se han descrito hasta el momento 568 QTLs; zonas del ADN que con carácter aditivo influyen en el mismo (<http://www.animalgenome.org>) (Ramis *et al.*, 2016).

Por tanto, es imperioso establecer programas de selección, a nivel de poblaciones para obtener los productos que demandan los consumidores y que mejor se adaptan a la realidad productiva de cada población, utilizando todas las herramientas que están hoy a nuestro alcance: los modelos matemático-estadísticos del BLP en primera instancia y posteriormente el BLUP junto con la biología molecular.

2.2.2.- Selección genética en cerdo ibérico

La raza porcina ibérica es una raza autóctona que hasta hace pocas décadas se circunscribía casi exclusivamente al suroeste de la Península Ibérica. Sin embargo, los últimos 30 años han traído una expansión de estos animales por toda España y su adaptación a la cría en intensivo (INIA, 2011), siendo hoy en día minoritaria la producción tradicional en extensivo, ligada a las dehesas Mediterráneas, con respecto al cebo en intensivo. Sin embargo, esta producción en el campo es fundamental ya que

la máxima exigencia de calidad que se puede obtener en productos derivados de cerdo ibérico.

Con respecto a la selección genética, el cerdo ibérico prácticamente ha llegado hasta nuestros días sin haber sufrido presión de selección, con lo que sus rendimientos productivos distan muchísimo de los de las razas blanco precoz que comparten entorno geográfico con el ibérico. Además, hay que tener en cuenta que desde finales del siglo XIX, la población de cerdos ibéricos que ocupaba la península ibérica ha estado sometida a fenómenos de inmigración de otras razas foráneas y de aislamiento territorial, derivando en la aparición de multitud de estirpes que comprenden, entre otras, el Manchado de Jabugo, Torbiscal, Guaderybas o Valdesequera (Muñoz Luna, 2018).

Esta afirmación se argumenta en el libro publicado por (Escandón, 1916) donde recoge excelentes fragmentos relativos al cerdo de Jabugo (Muñoz Luna, 2018):

“La labor realizada por D. José Sánchez Romero, en un periodo de medio siglo, es digna de algo más que una referencia a vuela pluma. Crear una verdadera raza de cerdos, de mayor peso y precocidad que el ganado común de la comarca; aumentar el rendimiento año con año; reducir la edad para obtener de modo más económico el peso requerido...”

“¿Cuál es el origen de ese nuevo cerdo? Exactamente no se sabe. Los animales importados hace más de cuarenta años para mejorar el tipo de la región, que era el común de Andalucía, procedían de Inglaterra y eran con toda probabilidad, de la raza Berkshire, acaso de los Berkshire negros del todo, comunes por aquella época en su país de origen...»; «Los cerdos obtenidos gracias a la infusión de una raza extranjera y la selección inteligente y cuidadosa de los descendientes de aquellos animales con los de la variedad local, han dado como consecuencia un animal que dista mucho, dígame lo que se diga, del negro de raza extremeña o del colorado llamado de Portugal o Andalucía...”

Asumiendo en nuestros días un numeroso catálogo de variedades definidas de cerdo ibérico: el Negro Lampiño, el Entrepelado, el Retinto y el Torbiscal, el Alentejano, el Manchado de Jabugo, el Negro de los Pedroches y líneas como Mamellado, Silvela, Villalón y Valdesequera de Retinto, son las cuatro primeras, que con el devenir del tiempo se ha producido gran diferenciación entre ellas, que manifestada en una alta variabilidad intrarracial (Clemente *et al.*, 2008). Esta variabilidad no se manifiesta solo en cuestiones anatómicas como el peso de las piezas nobles sino en otros parámetros como el color de la carne o el contenido en AG insaturados (Muñoz Luna, 2018). Esto, sin dejar de ser

bueno desde el punto de vista genético, supone una limitación a la hora de homogeneizar el producto final que se desea obtener.

Por otro lado, la posibilidad de utilizar otras razas para cruzamientos, como es el caso del duroc, establecido por el R.D. 1083/2001 y sus subsiguientes modificaciones (R.D. 144/2003, R.D. 1781/2004, R.D. 2/2014 y R.D. 255/2016), aumenta aún más la variabilidad y dificulta que el resultado de los cruzamientos sea homogéneo.

2.3.- Composición corporal del ganado porcino y características diferenciales con el cerdo ibérico

La esencia en la producción porcina es la eficiencia en la conversión de nutrientes aportados mediante los alimentos en productos cárnicos (Pond y Maner, 1974). Esta conversión engloba relaciones entre el consumo de nutrientes y la composición física y química corporal del cerdo en crecimiento (Walstra, 1980). La cantidad de tejido muscular y su distribución son los principales factores de la cantidad y calidad de carne del cerdo que se puede extraer de la canal. En gran medida debido a las preocupaciones sobre la salud humana y la evaluación sensorial de productos frescos del cerdo, la distribución y composición de ácidos grasos (AG) del tejido adiposo en el cuerpo del cerdo también se debería considerar. Además, los órganos viscerales contribuyen de forma importante en el gasto de nutrientes y por tanto en la eficiencia de utilización de los mismo, por lo que es esencial atender a las necesidades específicas de las vísceras (de Lange *et al.*, 2001).

Los cuatro principales constituyentes químicos en el peso de vivo vacío del cerdo (PV_v) son el agua, la proteína, la grasa y los lípidos, Tabla 2.1, (de Lange *et al.*, 2003).

Tabla 2.1. Composición química corporal del cerdo en vacío, a distintos PV, %

	110 kg PV				
	Nacimiento	7 kg PV	25 kg PV	Cerdo Graso	Cerdo Magro
Agua	77	66	69	48	64
Proteína	18	16	16	14	18
Lípidos	2	15	12	35	15
Cenizas	3	3	3	3	3

^aDerivado de (McMeekan, 1940), (Richmond y Berg, 1971a; b), (de Greef *et al.*, 1994), (Whittemore, 1993), (Bikker *et al.* 1995; 1996a; b), y (Coudenys, 1998)

Sin embargo, el PV_v del cerdo contiene menos cantidad de carbohidratos (pequeños almacenes de glucógeno en músculo e hígado). Y su composición en minerales se puede estimar a partir de los estudios publicados en ARC (1981), Rymarz (1986), Hendriks y Moughan (1993), y Mahan y Shields, (1998a).

La relación entre consumo de nutrientes y composición corporal física y química viene determinada por un rango de factores asociados entre ellos como son la nutrición, genotipo, ambiente, y el estado de madurez (de Lange *et al.*, 2003). Se han desarrollado modelos matemáticos que son capaces de predecir la composición del cerdo en cuanto a la deposición de proteína (DP) y grasa (LD) a lo largo de la etapa de crecimiento (van Milgen *et al.*, 2008).

Los principales tejidos en el peso corporal vacío de cerdos en crecimiento son músculos, tejido adiposo, órganos viscerales, huesos, sangre y piel, Tabla 2.2 (de Lange *et al.*, 2003), otros tejidos,

incluido el nervioso, linfático y vascular contribuyen a menos del 10 % del peso corporal vacío de cerdos en crecimiento, la composición corporal física varía considerablemente con el genotipo. Alrededor de un 15 % de la proteína corporal se presenta en órganos viscerales (Rook *et al.*, 1987; de Greef *et al.*, 1994; Bikker *et al.* 1995; ; 1996a; b; Coudenys, 1998).

El tejido adiposo corporal se puede dividir en tres principales categorías, grasa asociada con músculos (grasa intra e intermuscular), grasa subcutánea, y grasa abdominal. El 70 % aproximadamente de la grasa de todo el cuerpo se presenta en forma subcutánea, abdominal, y la mayoría de la grasa intermuscular (Rook *et al.*, 1987; de Greef *et al.*, 1994; Bikker *et al.* 1995; ; 1996a; b; Coudenys, 1998).

Tabla 2.2. Composición corporal del cerdo en vacío, en crecimiento, %

Sexo/Genotipo	Tejido, %				
	Músculo	Órganos Viscerales ^b	Tejido Graso	Hueso	Piel
Macho					
Línea Sintética	51,1	15,4	12,4	8,7	3,4
Pietrain	54,2	12,8	14,0	7,5	3,0
Large White	43,8	17,6	15,5	8,7	4,2
Hembra					
Large White	45,2	16,0	17,1	8,2	3,6
Castrados					
Large White	43,3	16,4	17,9	8,4	3,6
Meishan	27,8	16,7	28,1	7,2	7,4

^aAjuste a una media de peso corporal vacío de 47.2 kg, datos de (Quiniou y Noblet, 1995).

^bIncluye pelo y sangre.

La genética, sexo, nutrición, ambiente, y las interacciones entre ellas juegan un papel en la composición corporal del cerdo (de Lange *et al.*, 2003).

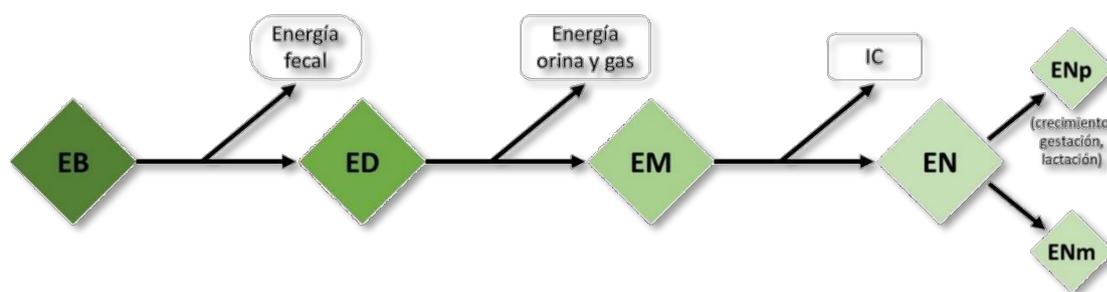
2.3.1.- Eficiencia de utilización de la energía en porcino

La energía bruta (EB) de un alimento es aquella que se libera en forma de calor tras producirse su oxidación completa, por lo que depende de la concentración de carbohidratos, lípidos, proteínas y minerales que contiene. Representa la máxima cantidad de energía que el animal puede utilizar para satisfacer sus necesidades y, generalmente, se expresa en kilocalorías por gramo (kcal/g). En consecuencia, su determinación se efectúa mediante calorimetría o empleo de valores de combustión de proteínas (5,69 kcal/g), carbohidratos (4,15 kcal/g) y lípidos (9,45 kcal/g). Asimismo, la estimación de la EB de las heces permite calcular la energía digestible (ED), la EB de la orina nos proporciona información para determinar la EM y la cuantificación del calor liberado por los animales permite estimar la energía neta (EN). De esta manera, la ED es la cantidad de EB del alimento que es absorbida por el tracto gastrointestinal y está disponible para su utilización por el animal, por lo que es el resultado de la diferencia de la EB de la dieta y la EB de las heces (NRC, 2012).

Por otra parte, la EM representa la cantidad de energía disponible para los procesos metabólicos y su valor se obtiene al restarle a la ED el contenido en EB de la orina y de los gases generados por la fermentación. La pérdida de energía por gases más importante corresponde al metano. La producción de metano puede ser estimada gracias al contenido en fibra fermentable de la ración, que normalmente es mayor en dietas de cerdas (NRC, 2012). Sin embargo, la escasa cantidad de gases que son producidos por los cerdos dificulta el cálculo de la energía que representan. Por consiguiente, el paso de ED a EM es calculado normalmente atendiendo a las pérdidas energéticas en orina, que tienen un mayor peso (Kil *et al.*, 2013). La energía liberada por la orina procede fundamentalmente del nitrógeno (N) excretado (principalmente urea, pero también creatinina, amonio $-NH_4^+$, ácido úrico o aminoácidos), por lo que puede calcularse conociendo el contenido en proteína de la dieta: el 50 % del N absorbido es utilizado para la síntesis de proteína corporal, mientras que el 50 % restante es excretado en orina (Noblet y van Milgen, 2004).

Finalmente, la EN es el resultado de sustraer el incremento calórico (IC), producido por la ingestión de alimentos, a la EM. El IC comprende el calor proveniente de la digestión y asimilación de nutrientes, de la fermentación y de la formación de productos de desecho. La energía restante es la que se utiliza para el mantenimiento de las funciones fisiológicas del animal como, por ejemplo, la regulación de la temperatura corporal y para la producción (crecimiento, gestación y lactación) (Gutierrez y Patience, 2012). La determinación de las necesidades energéticas para el crecimiento se hace en función del peso corporal y de la proporción de proteína y lípidos de los tejidos del animal. (Figura 2.2) (NRC, 2012).

Figura 2.2. Esquema de la partición de la energía (Modificado de NRC, 2012)



La EN del alimento utilizada por el animal es la EM menos la energía por la producción de calor y se divide en energía para el mantenimiento (EM_m) y la energía para la acumulación de tejidos corporales. Se asume en general que la EN es la valoración ideal de referencia para expresar las necesidades de energía de los cerdos (Noblet y van Milgen, 2004), aunque dado que no está bien establecida en muchas materias primas, es la EM la que tiene un uso más extendido.

La conversión entre unidades energéticas en piensos comerciales equilibrados puede realizarse en la práctica utilizando los siguientes factores de equivalencia (FEDNA, 2013):

- 100 kcal EM = 100/0,967 kcal ED = 103 kcal ED.
- 100 kcal EM = 76 kcal EN (76,7 en cebo y 75 en cerdas adultas).

Por lo tanto, las necesidades de EM en animales de crecimiento se pueden dividir en necesidades prioritarias para el mantenimiento (EM_m), termorregulación (calor) y para la acumulación de los tejidos corporales ($EN_{\text{crecimiento}}$).

Un gramo de lípido equivale a 9,45 kcal/g de energía, valor publicado por Quiniou, *et al.* (1996) y un gramo de proteína 5,69 kJ/g, valor que fue publicada por Noblet, Henry *et al.* (1987) y según las eficiencias de utilización de la EM retenida de proteína y grasa, k_p y k_f respectivamente, un gramo de lípido costará acumularlo en el cuerpo aproximadamente 11,26 kcal de EM ($9,45/0,8$), mientras aproximadamente se necesitan 9,56 kcal de EM ($5,69/0,6$) para acumular 1 gr de proteína corporal.

Para tenerlo en cuenta, Kielanowski (1965) propuso que el consumo de EM diario de los animales puede ser la suma de sus necesidades de mantenimiento, más las de PD y LD:

$$EM = EM_m + PD/k_p + LD/k_f$$

donde PD y LD son las necesidades de energía neta diaria para la deposición de proteína y lípidos (kJ/d) respectivamente, y k_p y k_f son sus correspondientes eficiencias metabólicas. Está aceptado que hay considerables diferencias en las eficiencias publicadas, k_p , es típicamente mucho más pequeña que k_f (0,60 y 0,80, respectivamente (Noblet *et al.*, 1999)). En consecuencia, desde un punto de vista de

coste metabólico se necesita más energía para acumular 1 kJ de energía en forma de proteína que en forma de lípido. Las eficiencias parciales de EM utilizadas para la PD tienen un rango entre 0,36 a 0,57 (Tess *et al.*, 1984b), y para la LD se estima un rango desde 0,57 hasta 0,81 (Tess *et al.*, 1984b).

Esta composición de la ganancia de peso se puede medir mediante modelos matemáticos y técnicas en matadero y depende como hemos visto al principio del capítulo principalmente del genotipo, sexo, PV, nutrientes suministrados y factores climáticos. En el caso del cerdo ibérico es fundamental tener en cuenta todas sus particularidades metabólicas pues influyen en las eficiencias de utilización de la EM (Nieto *et al.*, 2018).

En general, EMm se expresa habitualmente como una ecuación alométrica que la relaciona con el peso metabólico ((ARC, 1981) y (NRC, 1998)), y se han publicado históricamente ecuaciones específicas para cerdos en crecimiento cebo, (Birkett y de Lange, 2001c), para cerdas en lactación y gestación, (Dourmad *et al.*, 2008), etc. La producción de calor en ayunas (FHP) representa aproximadamente una proporción constante de EMm para un pienso dado (Noblet, Shi *et al.* 1993) y es una cantidad medible bajo condiciones estandarizadas (van Milgen *et al.*, 1998). Para cerdos, EMm y FHP se consideran proporcionales al peso metabólico y son dependientes de los compartimentos corporales activos metabólicamente tales como el tracto gastrointestinal e hígado (Critser *et al.*, 1995).

La EM en cerdas en gestación (ENgestación) se utiliza para cubrir las necesidades de la ganancia de peso, DP y LD maternas y del *conceptus*, pueden determinarse a partir de las eficiencias de EM utilizadas para ganancia materna (k_p para proteína y k_f para grasa) y crecimiento de *conceptus* (k_c). Valores para k_p y k_f se han estimado (0,60 y 0,80 respectivamente; (Noblet *et al.*, 1990). El k_r estimado (0,80) es similar al k_f e implica que la mayoría de la energía movilizada de la cerda para el apoyo a la gestación debería ser del tejido adiposo (Noblet *et al.*, 1990) y (Dourmad *et al.*, 2008). Aunque los tejidos asociados con el crecimiento fetal han sido definidos (fetos, placenta, fluidos, útero; (Noblet *et al.*, 1985)), k_c se refiere típicamente a la estimación de productos del *conceptus* (fetos+ placenta + fluidos). Con esta definición del *conceptus*, se estima una k_c de 0,5 ((Close *et al.*, 1985) y (Noblet y Etienne, 1987)). La energía para el crecimiento de *conceptus* depende de estado de la gestación y el tamaño de camada esperado (Noblet *et al.*, 1985).

La energía consumida por las cerdas en lactación se utiliza para cubrir las necesidades de mantenimiento (potencialmente afectada por la T^a y actividad) y la producción de leche. Además, ya que este consumo suele estar limitado por la capacidad de ingestión del animal para cubrir la producción de leche, la cerda se ve obligado a movilizará reservas corporales, en forma de proteína y lípidos; por tanto, es deseable maximizar el consumo de pienso durante la lactación. Las consecuencias metabólicas y reproductivas del consumo limitado de pienso y la consecuente movilización de tejidos es más acusado en cerdas jóvenes que en viejas (Boyd *et al.*, 2000).

La producción de leche que viene determinada por la tasa de crecimiento de la camada es el principal parámetro que determina las necesidades de energía en lactación. Las necesidades energéticas asociadas con la producción de leche dependen de la tasa de crecimiento de la camada ((Noblet, 1989); (NRC, 1998)).

La eficiencia (km) de la conversión de EM a energía de la leche está entre los rangos de 0,67 a 0,72 ((Verstegen, 1985); y (Noblet y Etienne, 1987)). Previamente (NRC, 1998), km se asumió como 0,72 y este es valor es consistente con el modelo descrito por Dourmad *et al.* (2008). La curva de producción de leche de la cerda no es lineal por lo que la respuesta de EM consumida en función del día de lactación se puede describir usando una ecuación no lineal de aproximación descrita por (Schinckel *et al.*, 2010). Como se esperaba, la eficiencia de movilización de tejido corporal para cubrir las necesidades de energía para la producción de leche (k_{mr}) son mayores que km. La eficiencia de conversión de la movilización de tejido corporal a energía de leche va de los rangos 0,84 (de Lange *et al.*, 1980) a 0,89 ((Noblet y Etienne, 1987); NRC, 1998).

La actividad física también influye en la producción de calor y, por tanto, en las necesidades energéticas de mantenimiento del animal. Noblet (1993) observó el incremento de producción de calor asociado con el ejercicio de las cerdas como 6,5 kcal de EM/kg de su $PV^{0,75}$ por cada 100 minutos. Esta cifra fue similar publicada por Hornicke (1970) de 7,2, por McDonald *et al.* (1988) de 7,1 por Susenbeth y Menke (1991) de 6,1 y por Cronin *et al.* (1986) de 7,6 kcal/kg de $PV^{0,75}$ por cada 100 minutos. Noblet (1993) también determinaron el coste energético postprandial, siendo este entre 24-35 kcal de EM/kg de pienso consumido.

La energía dedicada al mantenimiento de la termorregulación corporal hay que tenerla en cuenta cuando la temperatura ambiental se desvía de las temperaturas críticas de la termoneutralidad y puede afectar a la producción/pérdida de calor y del consumo de energía.

2.3.2.- Deposición proteica en ganado porcino

La masa de tejido magro corporal está en continuo proceso de degradación y resíntesis. Durante el crecimiento, la tasa de nueva síntesis es suficiente para permitir la acumulación de masa proteica, aunque también provoca pérdidas endógenas (Whittemore y Fawcett, 1976).

La estimación de la tasa de PD corporal es la primera característica necesaria para describir el crecimiento de los cerdos. El crecimiento de todos los componentes corporales no grasos incluyendo el agua, magro de la canal y cenizas se pueden modelar en función de la DP (Whittemore, 1994).

Para la deposición proteica es necesaria la absorción de aminoácidos, y su metabolismo es un continuo proceso interactivo el cual está sujeto a un complejo multidimensional de control y de regulación. Así el flujo de compuestos absorbidos y sus tasas y lugares de acumulación en el cuerpo están continuamente cambiando en el tiempo: desde la absorción de aminoácidos, *turnover* de proteína corporal y pérdidas de aminoácidos de integumentos (piel y pelo), incluidas las pérdidas endógenas de tracto intestinal, síntesis de otros compuestos (compuestos que contienen N no aminoacídico, como histamina o serotonina) y pérdidas por vía urinaria.

El *turnover* de proteína corporal y síntesis de otros compuestos entran a formar parte de la acumulación de la proteína del animal y por lo tanto a la ganancia de proteica durante el crecimiento (Maughan, 1999).

La ingesta de aminoácidos de los alimentos depende de una acción altamente integrada y regulada por numerosos procesos como la tasa y frecuencia de ingestión, tasa de vaciado del estómago y tasa de tránsito digestivo por el intestino delgado, por otro lado. El proceso de mantenimiento se encarga de sintetizar piel y pelo continuamente y las pérdidas de la superficie corporal, además de remplazar las considerables cantidades de aminoácidos degradados a través del tracto digestivo asociados con el flujo de materia seca (MS) del alimento, algunos aminoácidos de proteína corporal que se oxidan durante el *turnover* de proteína corporal y el N que se pierde por la orina, principalmente en forma de urea. Parte de la urea urinaria puede contener una fracción de N proveniente del catabolismo bacteriano de aminoácidos endógenos del intestino grueso. Así también, algunos aminoácidos pueden ser utilizados para la síntesis irreversible de compuestos de nitrógenos no aminoacídicos, o pueden ser alterados irrevocablemente durante el metabolismo.

A medida que el cerdo recibe cantidades crecientes de aminoácidos por encima de las necesidades de mantenimiento y esas se vienen acompañadas de suficientes cantidades de glucosa y otros compuestos no-amino que producen energía y vitaminas y minerales, se van acumulando cantidades crecientes de proteína corporal. Este proceso ocurrirá hasta que se alcanza la capacidad de síntesis de proteína máxima del cerdo (PDmax). Por encima de esta capacidad los aminoácidos bien equilibrados

no se pueden aprovechar para la síntesis de proteína, y como no se pueden almacenar en el cuerpo por periodos prolongados en el tiempo, se catabolizarán.

Por lo tanto, PDmax es el límite superior para la retención de proteína y una limitación en el crecimiento de los cerdos. El ímpetu intrínseco del animal para el crecimiento de proteína domina la regulación del reparto de nutrientes (Webster, 1993) y por tanto PDmax y su descripción cuantitativa son de considerable importancia. Este concepto de un límite superior intrínseco de retención de proteína corporal-total, influenciada por el genotipo del animal, se discutió por (Kielanowski, 1969) y después varios estudios han sido emprendidos para caracterizar PDmax y cómo cambia en función del PV y el grado de madurez del animal. Emmans (1981) argumentó adecuadamente, que no se puede probar “científicamente” que una tasa de crecimiento obtenida, pueda ser una tasa potencial, ya que inequívocamente es imposible demostrar que un ambiente dado (una gran cantidad de variables influyentes, alguna la cual puede ser desconocida) sea no limitante. Sin embargo, pragmáticamente, PDmax se puede demostrar como un concepto valorable. En numerosos estudios tipo dosis-respuesta con cerdos en crecimiento han demostrado un *plateau* para la PD la cual no puede ser aumentada por alimentación con adicionales fuentes de energía y/o proteína equilibrada. También, encontramos varios estudios publicados sobre el efecto de la hiperalimentación en el crecimiento del cerdo, en este sentido Newcomb *et al.* (1993) y Seddon (1991) afirmaron que el suministro de una dieta equilibrada a un nivel superior de lo normal de una ingestión *ad libitum* dirige a un aumento de la tasa de crecimiento, pero no aumenta la PD. Estos estudios explican la operación de una tasa máxima de PD. Además, PDmax está bajo el control genético (raza, estirpe, sexo) y este influenciado por la edad, PV y probablemente por el histórico nutricional del animal (Whittemore, 1993). PDmax puede ser manipulada por selección genética o por la administración de hormonas externas y agentes anabolizantes (Beerman, 1993) y puede verse afectado por desafíos del sistema inmune (Williams *et al.*, 1993). Las publicaciones que calculan la estimación de PDmax para el cerdo en crecimiento entre 20 y 100 kg de PV varía desde 80 gr/día hasta bien por encima de 200 gr/d (Maughan, 1999).

2.3.3.- Crecimiento, relación energía: proteína

Hammond (1966) definió el crecimiento como: “El aumento de PV experimentado por un individuo desde su concepción hasta la edad adulta”. Es un término que alberga cierta complejidad, ya que no solo hace referencia al incremento del peso hasta la madurez, sino que también tiene en cuenta el desarrollo de los diferentes tejidos corporales a lo largo de la vida del animal. Además, el crecimiento, está determinado por variables que dependen del animal (genética, sexo, salud, etc.), de su dieta (cantidad, calidad y estrategia nutricional) y de su entorno (condiciones climáticas, alojamiento, etc.) (Bastianelli y Sauvant, 1997).

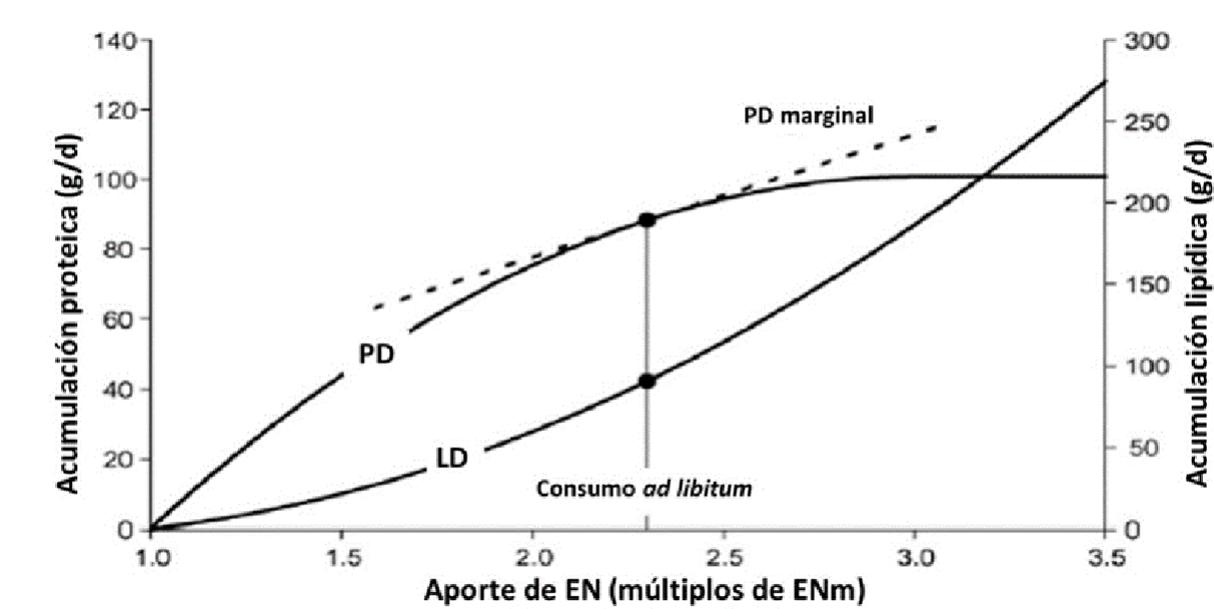
El crecimiento y por lo tanto las tasas de PD y LD son algunos de los aspectos fisiológicos más estudiados en la especie porcina, debido a su gran impacto en los beneficios económicos del sector. Son numerosos los factores individuales que influyen sobre estos parámetros; entre ellos, destacan la edad, el sexo y la raza (Ayuso *et al.*, 2016; Vázquez-Gómez *et al.*, 2018a). Igualmente, factores ambientales como la cantidad y composición de la dieta (tanto en estadios prenatales como postnatales), la temperatura o las horas de luz, entre otros, repercuten en el contenido graso del animal y en su crecimiento (da Costa *et al.*, 2004; Doran *et al.*, 2006). La LD, además de afectar a parámetros productivos, tiene un impacto importante sobre el estado de salud y el bienestar del animal y sobre las características sensoriales de sus productos. Por todo ello, es de gran interés el conocimiento de todos aquellos factores susceptibles de selección que permitan mejorar tanto los rendimientos como la calidad de los productos finales.

El conocimiento de la relación entre consumo de energía y la DP es crítico para determinar la partición de energía que se destina a la deposición de grasa y cual a la de proteína y para predecir las consecuencias del cambio en el consumo de energía sobre el rendimiento, la composición corporal, por lo tanto para conocer las necesidades de proteína de la dieta de los cerdos en crecimiento (Campbell y Taverner).

Conocer cómo se reparte la energía entre la PD y la LD permite adaptar el consumo de los cerdos a sus características intrínsecas y a los objetivos productivos (Quiniou *et al.*, 1996). El reparto de la energía entre la PD y la LD depende fundamentalmente del aporte de energía en la dieta, expresado en múltiplos de energía para el mantenimiento. La función que describe la PD es curvilínea hasta que se alcanza la capacidad máxima de deposición proteica (PD_{max}), donde se hace plana, función *curvilínea-plateau* (van Milgen *et al.*, 2008). La PD_{max} está estrechamente relacionada con su potencial de crecimiento, sexo y las condiciones ambientales como, por ejemplo, el estrés por calor o la densidad. Además, el aporte limitado de proteína o de energía se traduce en una PD inferior a la PD máxima (van Milgen *et al.*, 2000b). La función que representa la LD es curvilínea hasta que la PD alcanza su valor máximo (PD máxima). A partir de ese momento se convierte en una función lineal. Cuando el consumo está dirigido

a satisfacer las necesidades de mantenimiento, tanto la PD como la LD son 0, lo que gráficamente se muestra como la intersección de ambas funciones con el origen del aporte de ENm (van Milgen *et al.*, 2008), Figura 2.3.

Figura 2.3. PD y LD en función del aporte de EN (Modificado de van Milgen *et al.*, 2008)

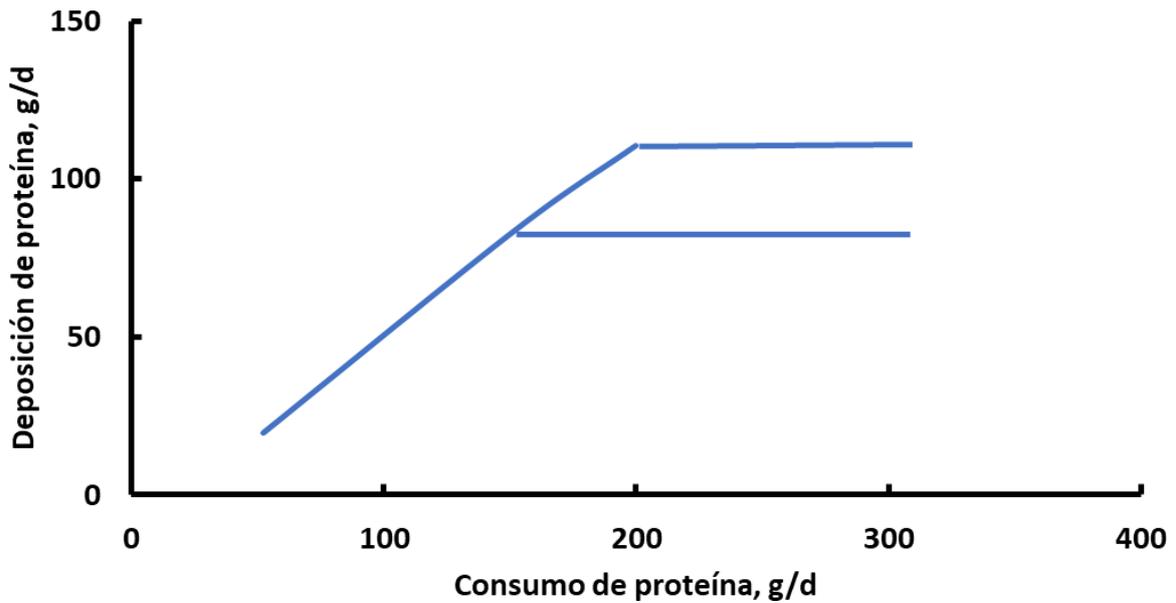


La mejora de la ganancia diaria de proteína con el mismo nivel de consumo se asocia con un incremento en la tasa y eficiencia de la ganancia corporal y un descenso en el contenido de lípidos del contenido de la canal (Campbell, 1988b). Por otro lado en los trabajos de Black y Griffiths (1975), Campbell *et al.* (1984) y de nuevo Campbell *et al.* (1985b) describen una relación *lineal-plateau* entre el consumo de proteína y la PD, donde a un nivel constante de consumo de energía, la PD aumenta linealmente con el incremento del consumo de la proteína hasta alcanzar las necesidades de ratio proteína: energía máximas; un aumento adicional de consumo de proteína por encima del punto de inflexión no tiene un efecto positivo en la ganancia de proteína. Con el aumento del consumo de energía, la ganancia de proteína acumulada también aumenta en función a un mayor consumo de proteína (Figura 2.4a). Además, otros autores también describieron la relación entre el consumo y la PD como una curva lineal para un consumo de energía constante (Zhang *et al.*, 1984), curvilínea ((ARC, 1981; Fuller y Garthwaite, 1993)) y de dos tramos lineales (Batterham *et al.*, 1990).

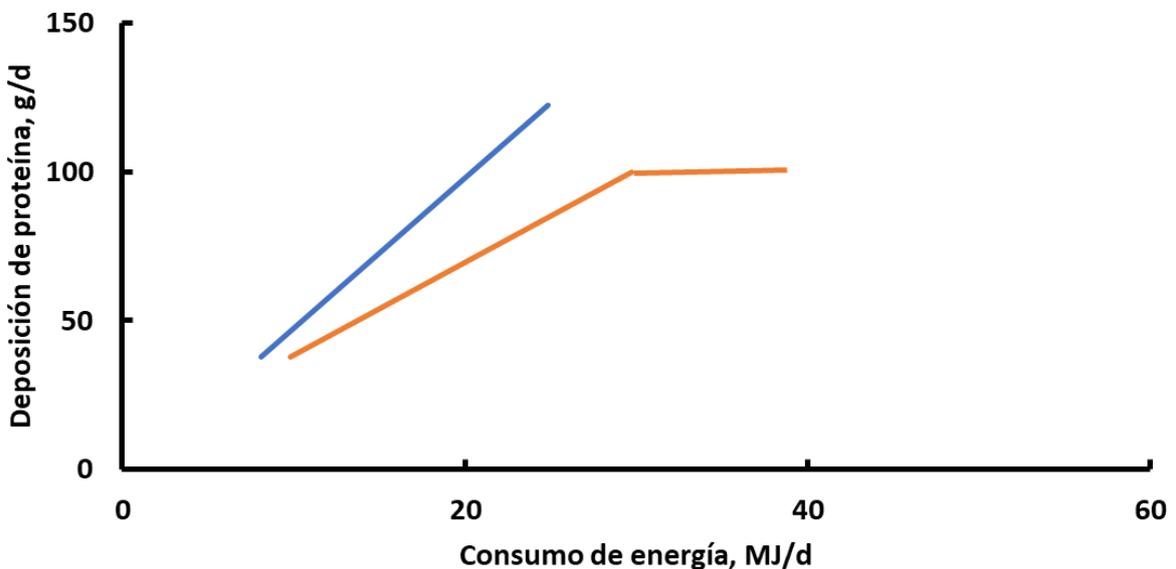
Los resultados de estos estudios dieron lugar al desarrollo del concepto ratio energía: proteína para las distintas fases de crecimiento y, por lo tanto, la PD que dependen de dicho ratio en la dieta.

Figura 2.4. (a) Relación curvilínea y *lineal-plateau* entre PD y consumo de proteína, a dos niveles de consumo de energía. (b) Relación lineal y *lineal-plateau* entre la PD y el consumo de energía

(a)



(b)



Según este concepto, para optimizar la utilización de proteína, los cerdos necesitan una dieta con un adecuado ratio aminoácido: energía. Este ratio óptimo probablemente dependa de la capacidad genética de la deposición de proteína de los animales (Campbell *et al.*, 1985b).

En dietas con adecuados niveles de aminoácidos, la respuesta a una cantidad creciente de pienso refleja el efecto del consumo de energía sobre la DP. La respuesta de la DP al consumo de energía ha sido descrita como lineal, curvilínea y *lineal plateau*. (Campbell *et al.*, 1983a) y (Close *et al.*, 1983) (Figura 2.4a); estos investigadores publicaron un incremento lineal en la acumulación de proteína con el aumento de consumo de energía para cerdos por debajo de 40 kg de PV. Consecuentemente, la ganancia de proteína fue limitada por el consumo de energía. Por otro lado, la curva Figura 2.4b representa una relación *lineal plateau* publicada por Campbell *et al.* (1985a) y Dunkin *et al.* (1986). Tanto los estudios mencionados de Campbell *et al.* (1983a), Campbell *et al.* (1985a), Dunkin *et al.* (1986) junto con los de Schneider *et al.* (1982) demostraron que se alcanza un máximo de DP con niveles altos de consumo de energía. Y que el máximo PD se alcanza, no por la falta de ciertos nutrientes, ya que el consumo de energía aumenta en paralelo, si no con un aumento apropiado de proteína en la dieta; Whittemore y Fawcett (1976) afirma que los cerdos tienen una máxima capacidad de acumulación de proteína (PDmax), y ésta depende de la predisposición genética y de su capacidad de ingesta. La posibilidad de alcanzar antes la PDmax es mayor en cerdos adultos, castrados y cerdos de genotipo rústico. La tasa de PD como respuesta al consumo de energía refleja la parte de energía de la dieta asignada para PD y LD. Esta tasa de respuesta puede venir afectada por el sexo y el genotipo del cerdo (Campbell y Taverner, 1988a).

Aunque se han propuesto diferentes mecanismos para representar la relación entre PD y consumo de energía (ej., ARC, 1981), el modelo *lineal-plateau* ha sido el más adoptado. Se asume que la PD aumenta linealmente con el consumo de energía hasta un punto donde otros factores empiezan a limitar la PD.

De los estudios publicados por Batterham *et al.* (1990), Kyriazakis y Emmans (1993), Bikker *et al.* (1994a), y Mahan y Shields (1998b), sobre la concentración de aminoácidos en la proteína corporal y la ganancia en proteína se obtuvieron datos que permiten establecer, la concentración de lisina en 7,1 g lisina por 100 g de ganancia de proteína.

2.3.4.- Características diferenciales del cerdo ibérico

El análisis químico de todo el cuerpo y de los componentes corporales han demostrado ser la manera fiable de determinar la composición corporal, una variable que se ve afectada enormemente por varios factores, tales como genotipo, PV y nutrición (Wagner *et al.*, 1999; Schinckel *et al.*, 2008). Además, en la producción porcina, el conocimiento de la composición corporal, cuantificar la deposición de los diferentes componentes químicos corporales, y su crecimiento relativo son las claves para la evaluación de programas de nutrición (Nieto *et al.*, 2012).

El cerdo ibérico presenta genotipo ahorrador, y con respecto a otras razas que han sufrido selección genética para mejorar su eficiencia productiva y de acumulación magra, razas de capa blanca mejoradas generalizada en la producción porcina mundial actual, es un cerdo graso de elevada rusticidad con capacidad de adaptación al medio según épocas de abundancia o escasez, gracias a su capacidad adipogénica que le permite acumular grasa corporal en gran cantidad como reservorio energético, además de tener gran apetito, y un crecimiento lento (Andrés *et al.*, 1998), sin embargo una baja capacidad de acumulación proteica (Barea *et al.*, 2007).

La proporción relativa de los cuatro componentes químicos de un kilogramo de ganancia de peso corporal en el cerdo ibérico con respecto a una raza de producción porcina de aptitud magra como es la *large white* se puede observar en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Composición de ganancia en peso corporal vacío por kg

	Nieto <i>et al.</i> , 2002	Barea <i>et al.</i> , 2007	García Valverde <i>et al.</i> , 2008	Quiniou <i>et al.</i> , 1996
Raza	ibérico	ibérico	ibérico	<i>large-white</i>
Rango PV, kg	15-50	50-100	100-150	45-100
Agua, g	450	284	323	409
Minerales, g	26	29	16	24
Proteína, g	128	78	91	119
Grasa, g	396	592	571	186

Estas diferencias de la composición química corporal de cada raza, impiden aplicar las mismas ecuaciones para obtener estimaciones precisas de la composición corporales en dos razas distintas (Quiniou y Noblet, 1995). Esta evidencia es de particular relevancia para el cerdo ibérico, una raza nativa con un bajo potencial para la deposición de tejido magro (Nieto *et al.*, 2002; Barea *et al.*, 2007; Conde-Aguilera *et al.*, 2011a).

Además, y aunque los efectos del genotipo del cerdo en la digestibilidad aparente del tracto total (TTAD) han sido ampliamente divulgados en la literatura, existe información controvertida sobre la capacidad digestiva de las razas autóctonas en comparación con los cerdos de tipo magro (Barea *et al.*, 2010). Los sistemas de producción de porcino extensivo, con peso a sacrificio entre 140 a 180 kg peso corporal y de 18 a 25 meses de edad, se encuentran típicamente en algunas áreas de la región mediterránea. La realidad de los genotipos autóctonos (ibérico, alentejano, nero siciliano, corso, etc) es su baja tasa de crecimiento. Una de las causas de la disminución de la eficiencia de los nutrientes de los cerdos ibéricos puede provenir a nivel digestivo. De hecho, en un trabajo previo del Instituto de Nutrición Animal (Granada, España), se detectó menor digestibilidad aparente del tracto total de proteína y energía en cerdas primerizas ibéricas en comparación con cerdas primerizas *landrace* (Rivera Ferre *et al.*, 2006).

En el estudio de Rivera Ferre *et al.* (2006) midieron la retención de N comparando cerditas de cría ibéricas con *landrace* de 25 kg de PV alimentadas con dietas con distinto contenido de PB y el mismo de EM y se observó que la eficiencia y la retención de N fue significativamente más baja en las cerditas ibéricas, particularmente para aquellos piensos con mayor contenido de proteína en la dieta. En consecuencia, el coste de PD debería ser mayor en razas primitivas ya que el proceso necesita considerables cantidades de energía. Según las tasas de *turnover* de proteína sean mayores, los pesos relativos de órganos viscerales son mayores (Rivera Ferre *et al.*, 2005), por eso hace que el cerdo ibérico sea menos eficiente en el uso de la proteína y energía de la dieta que los cerdos magros.

Por otro lado, para la raza ibérica la eficiencia marginal de deposición de proteica, que representa el incremento de P (g) por unidad de incremento de EM consumida, en primeras edades del lechón y las posteriores etapas de crecimiento expresadas por una función curvilínea son menores que en las razas magras, y en este sentido, los valores obtenidos para lechones entre 15-25 kg de PV postdestete fueron de 4.39 g/MJ EM (J. A. Conde-Aguilera, 2014) disminuyendo a 2.81 g/MJ EM en cerdos de 15 a 50 kg de PV (Nieto *et al.*, 2002), y disminuyendo más a 1.34 g/MJ EM en cerdos de crecimiento-cebo de 50 a 100 kg de PV (Barea *et al.*, 2007).

Además, la evolución de la PDmax del cerdo ibérico durante el crecimiento sigue la siguiente dinámica: aumenta rápidamente durante las primeras fases de crecimiento (Nieto *et al.*, 2002; Conde-Aguilera *et al.*, 2011b) para alcanzar la meseta al final. El punto de inflexión corresponde a 32,5 kg PV, punto-medio del estudio obtenido con cerdo en crecimiento de 15 a 50 kg de PV (Nieto *et al.*, 2002). Más allá de este punto, Pmax es mantenido a un valor medio de 0,75 g/d. La ecuación que mejor ajusta este modelo es:

$$PD_{max} = 77.5 \pm 2.86 - 218 \pm 26.2 \times 1 / PV \text{ (promedio).}$$

La hipótesis del genotipo ahorrador fue desarrollada para la especie humana en 1962 (Neel, 1962), a partir de estudios sobre la epidemia de obesidad y diabetes mellitus o tipo 2 en los indios Pima de Norteamérica (Neel, 1999). Neel sospechaba que esta enfermedad tan común y perjudicial tenía una base genética, y buscaba explicar cómo la selección natural favorecía estos genes con efectos perjudiciales. La explicación se basó en que los genes que predisponen a la diabetes (llamados genes ahorradores), eran históricamente ventajosos pero perjudiciales en la vida moderna (Neel, 1999). Es decir, los cambios genéticos que constituyen la base del genotipo ahorrador tienen como objetivo el acumulo de reservas durante las épocas de abundancia de alimentos para sobrevivir en épocas de escasez, favoreciendo la LD y la resistencia a la insulina. Sin embargo, estos cambios son perjudiciales en caso de abundancia continuada de alimentos y escasez de ejercicio.

Este hecho hace del cerdo ibérico un animal con un marcado perfil lipogénico y un crecimiento lento. Sobre la capacidad individual de PD intervienen factores genéticos involucrados en la regulación de la actividad hormonal que regula sus características metabólicas. En este sentido, en estudios llevados a cabo por (Fernández-Figares *et al.*, 2007), se observaron claras diferencias en el perfil hormonal de cerdas de las razas ibérica y *landrace*. Los niveles séricos de insulina, factor de crecimiento asociado a insulina (IGF-I) y leptina resultaron más elevados en la raza ibérica que en la raza *landrace*. El sistema IGF-I (junto con la hormona de crecimiento GH), y sus proteínas asociadas y receptores, actúan como un sistema multinivel hormonal llamado eje somatotrópico, el cual es considerado como una ruta clave que regula el desarrollo muscular (Tomas *et al.*, 1992; Breier, 1999).

La insulina es la hormona anabólica por excelencia. Es producida exclusivamente por las células pancreáticas y se secreta tras la ingesta de alimento, en respuesta a determinados nutrientes como glucosa, AG y aminoácidos. Además de su acción lipogénica y glucopénica en sangre, la insulina tiene una acción anorexigénica a nivel hipotalámico; así, niveles elevados de esta hormona actúan reduciendo el apetito (Schwartz *et al.*, 1992; Sipols *et al.*, 1995). Sin embargo, la llamada resistencia a la insulina es un estado en el que el cerebro no responde a las concentraciones fisiológicas de esta hormona, provocando una desregulación de la homeostasis celular y de funciones metabólicas y cognitivas (Cetinkalp *et al.*, 2014; Arnold *et al.*, 2018). Por tanto, puede definirse la resistencia a la insulina como una reducción de la respuesta de los tejidos a la acción de ésta, con una consecuente hiperinsulinemia compensatoria.

Por otro lado, la leptina (también conocida como proteína ob) fue la primera adipoquina identificada y que desempeña un papel indispensable en el control de la ingesta de alimentos y el gasto de energía y, por tanto, en el control del peso corporal, ya que interviene en la señal-respuesta llevada a cabo entre el tejido adiposo y el hipotálamo (Friedman y Halaas, 1998). En el metabolismo energético, la leptina secretada por los adipocitos actúa a nivel hipotalámico por la interacción con su receptor (LEPR); lo que conlleva un aumento del gasto de energía (por aumento del metabolismo corporal y de la temperatura

corporal) y de actividad física, así como una reducción del apetito (por la acción de péptidos anorexigénicos (Margetic *et al.*, 2002). Sin embargo, los genotipos obesos (como es el caso del cerdo ibérico) se caracterizan por desarrollar resistencia a la leptina, observándose un aumento de los niveles plasmáticos de esta hormona sin su esperable efecto anorexigénico; este hecho está relacionado con alteraciones en los receptores hipotalámicos (Druker, 2005).

En concreto, esta desregulación entre señal y respuesta podría estar relacionada, en el cerdo ibérico, con el polimorfismo LEPRc.1987C>T que, a su vez, está fuertemente asociado con caracteres de LD y crecimiento (Óvilo *et al.*, 2002; Óvilo *et al.*, 2005). Parece que este polimorfismo está relacionado con el nivel de expresión hipotalámico del gen que codifica el receptor de leptina (LEPR) (Óvilo *et al.*, 2010). De hecho, los resultados de este estudio demuestran que el alelo T de este polimorfismo se asocia con una reducción de la expresión del gen LEPR, probablemente debido a un cambio en la estructura secundaria del ARN mensajero que comprometería la estabilidad de éste, así como modificaciones en la expresión de otros neurotransmisores hipotalámicos involucrados en el control del balance energético. Como consecuencia de los cambios en la expresión génica (tanto a nivel hipotalámico como muscular), relacionados principalmente con variaciones tanto estructurales como funcionales en el gen receptor de la leptina, se produce una desregulación en el equilibrio apetito/saciedad. Este hecho potencia la acumulación de grasa como reservorio energético.

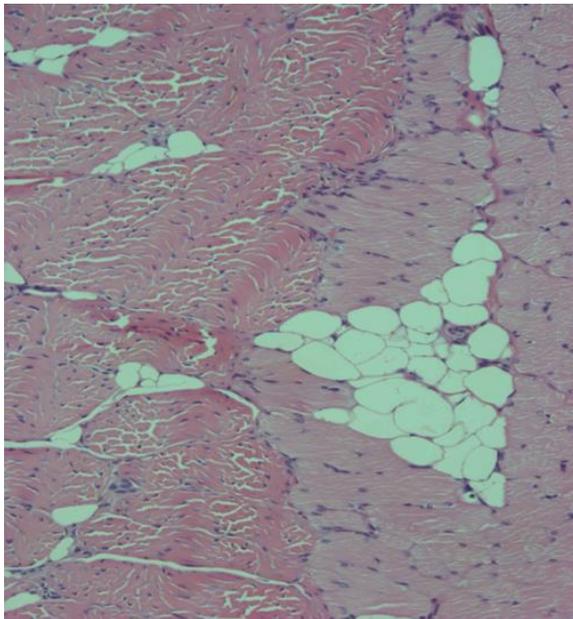
Por otra parte, en cuanto al utilizar el patrón del concepto de proteína ideal en cerdo ibérico según las pautas marcadas por organismos como la Asociación británica de Ciencia Animal (BSAS, 2003), el Consejo de Investigación Nacional estadounidense (NRC, 2012), o las normas FEDNA (FEDNA, 2013), que sintetizan algunas de las indicaciones más actualizadas en esta materia para cerdo blanco, con composición corporal distinta, puede no ser la estrategia nutricional más acertada. En este sentido, en un estudio diseñado para determinar la proporción de lisina en la proteína dietética más adecuada para el crecimiento óptimo de lechones ibéricos, Nieto *et al.* (2015), observaron que los índices más favorables en retención de proteína en la canal de los animales se obtenían con una relación de 63,7 gr de lisina/kg de proteína aproximadamente un 14% más baja que la considerada óptima para lechones de razas mejoradas, según las últimas indicaciones del NRC (2012).

2.3.5.- Grasa Intramuscular y calidad de carne

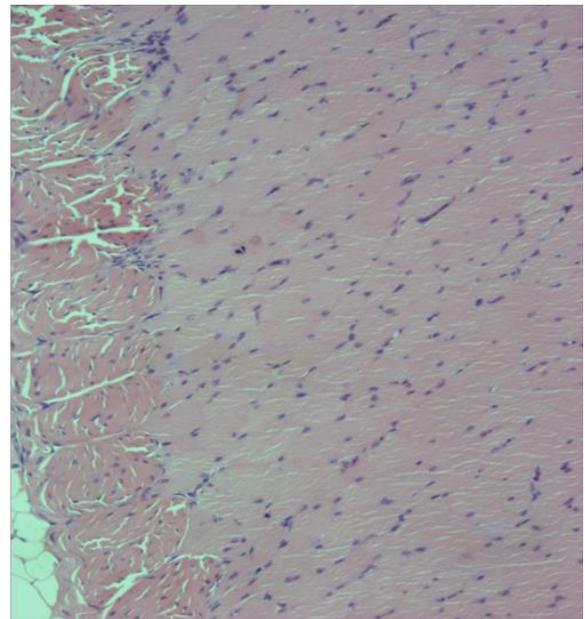
El cerdo ibérico es un animal adaptado a las difíciles condiciones del ecosistema de la dehesa, se caracteriza por su rusticidad y desarrollo tardío, consumir gran cantidad de alimento cuando hay abundancia de este, y mediante su potencial adipogénico (Cava y Andrés, 2001) y su metabolismo anabólico, a depositarlo en forma de grasa para soportar los meses de escasez, característica diferencial con respecto a las razas de cerdo blanco, más magras y con menor potencial adipogénico, Figura 2.5. La gran acumulación de grasa característica en el cerdo ibérico se distribuirá en el animal en tres grandes tipos de depósitos grasos: grasa subcutánea (que constituye un 60-70% del total de los depósitos grasos), grasa visceral (10-15%) y grasa inter- e intramuscular o GIM (20-25%) (Gerbens, 2004).

Figura 2.5. Corte de imagen histológica del músculo *longissimus dorsi* porcino

Tejido muscular cerdo ibérico (Raza adipogénica)



Tejido muscular cerdo blanco (Raza magra-mejorada)



Fuente: Imagen cedida por Dra. B. Isabel (Dpto. Producción Animal, Facultad de Veterinaria UCM).

Los dos depósitos grasos más estudiados y que mayor interés despiertan son la grasa subcutánea, representa una gran proporción del peso de la canal, y la GIM, Figura 2.5, por estar estrechamente relacionada con las características organolépticas y la calidad de carne.

2.3.5.1.- Grasa Intramuscular

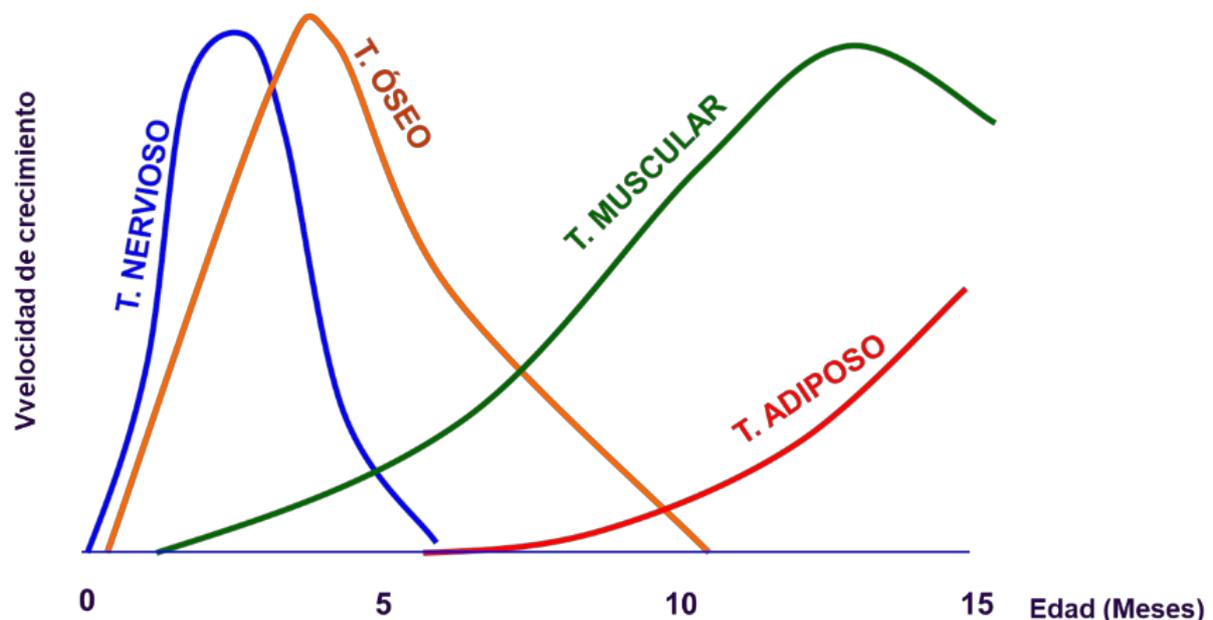
El contenido de grasa intramuscular (GIM) afecta a la ternera, jugosidad y sabor de la carne de cerdo (Fernández *et al.*, 1999a) y se considera un parámetro de gran valor para la mejora de la calidad de la

carne. La GIM se relaciona positivamente con la calidad de la carne, ya que enriquece sus propiedades sensoriales aumentando su aceptación por parte de los consumidores (Fernández *et al.*, 1999b).

Por lo tanto, para mejorar la calidad de los productos del cerdo ibérico es imprescindible conocer los factores que influyen en el desarrollo de la grasa infiltrada y su composición en AG.

Por ello, tanto el estudio de su formación (adipogénesis) como de su metabolismo (lipogénesis y lipólisis) son de gran importancia y han sido objeto de numerosos trabajos (Dodson *et al.*, 2010). El tejido adiposo presenta una elevada plasticidad y mantiene la capacidad de crecer a lo largo de toda la vida de los animales a través de procesos de hiperplasia (aumento del número de células) e hipertrofia (aumento del volumen celular). El estudio de ambos procesos precisa una adecuada caracterización de las principales células constituyentes del tejido adiposo, los adipocitos. En principio se piensa que el desarrollo celular del tejido adiposo en el cerdo blanco tiene lugar en tres fases: hiperplasia (7-20 kg de PV), una fase mixta de hiperplasia e hipertrofia (20-70 kg de PV) e hipertrofia dominante (a partir de los 70 kg) (Mersmann, 1986; Hauser *et al.*, 1997).

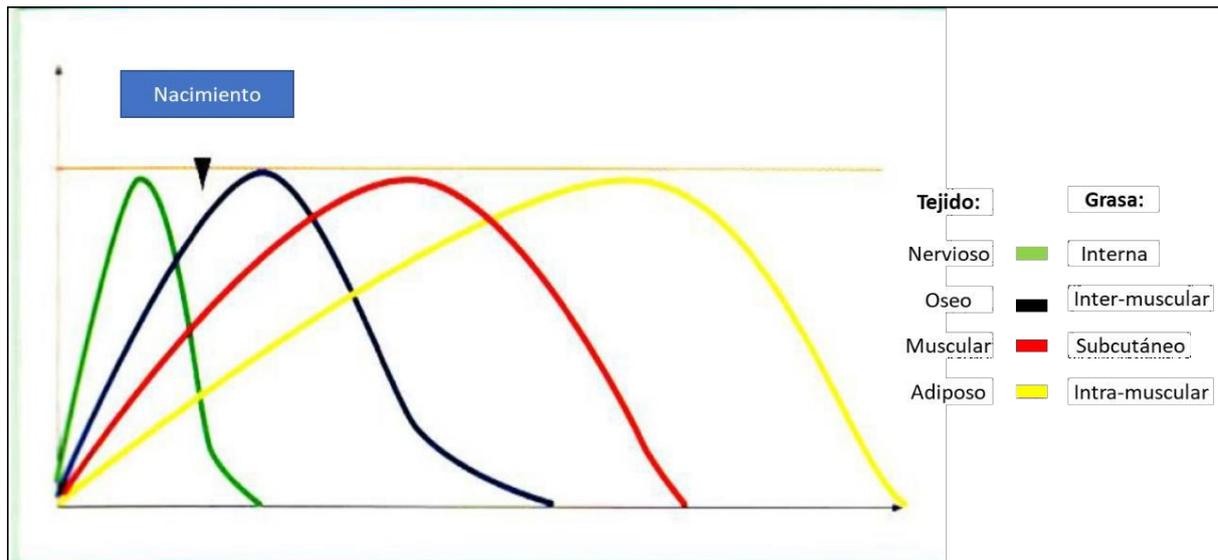
Figura 2.6. Evolución de los tejidos corporales de un animal con la edad



Fuente: Vicente Jimeno, basado en los estudios de (Huxley, 1932).

Además, debido a las diferencias regionales, el desarrollo, el contenido en lípidos y el metabolismo de los lípidos de los adipocitos de la GIM son diferentes de los adipocitos de la grasa subcutánea. El tejido adiposo intramuscular crece más lentamente, y tiene menor contenido en lípidos que el tejido adiposo subcutáneo (Kouba y Bonneau, 2009; Kouba y Sellier, 2011).

Figura 2.7. Evolución de la grasa en los tejidos corporales del animal en el tiempo



Fuente: Vicente Jimeno, basado en los estudios de (Huxley, 1932).

Por lo tanto, los principales factores que afectan al contenido de GIM en el cerdo son la edad y la genética, además de los ambientales como la alimentación, cambios epigénéticos, hormonas sexuales y el sistema de producción (Ruiz *et al.*, 1998; Mayoral *et al.*, 1999; Andrés *et al.*, 2001; Serrano *et al.*, 2008; Bosch *et al.*, 2012; Barbero *et al.*, 2013), Tabla 2.4 y 2.5. La alimentación puede influir, ya que por ejemplo un aumento de energía puede producir un aumento en la grasa subcutánea pero no necesariamente en la GIM; sin embargo, una disminución de la proteína de la dieta aumenta este parámetro (Barbero Fernández, 2015). También el perfil de AG de la dieta y el contenido en micronutrientes pueden afectar la cantidad de GIM en los cerdos (Madsen *et al.*, 1992; Flachowsky *et al.*, 2008; Lopez-Bote *et al.*, 2008; Olivares *et al.*, 2009).

También el sexo es un factor que afecta el contenido de GIM, pero se encuentran resultados contradictorios, por un lado en estudios previos Usero *et al.* (2016b) encontraron diferencias en el contenido de GIM entre machos castrados quirúrgicamente y hembras castradas inmunológicamente, a favor de las hembras, de 6,28 y 6,77 % en músculo *longissimus dorsi* medido mediante ecografía por ultrasonido en vivo, cerdo ibérico (50% duroc) de "Cebo", a los 205 días de edad, por otro lado, Serrano *et al.* (2008) y Egea *et al.* (2016), presentan resultados donde los machos castrados tienen mayor contenido que las hembras enteras y Martínez-Macipe *et al.* (2016), donde las hembras castradas tanto quirúrgicamente como inmunológicamente son superiores a los machos respectivamente, Tabla 2.4 y 2.5.

Tabla 2.4. Revisión del contenido de GIM en carne fresca de cerdo ibérico

	Raza ¹	Sexo ²	Pieza ³	GIM ⁴ , %	Detalles	Autor
Sexo	50	M C	LD	8,6		Serrano <i>et al.</i> 2008
		H		6,1		
	100	H QC	LT	9,5		Martínez <i>et al.</i> 2016
		H		8,4		
		H IC		7,7		
		H QC		9,1		
		H IC		7,0		
	50	M C	LT	6,0		Egea <i>et al.</i> 2016
H		5,0				
Cría	100		BF	8,7	exterior	Andrés <i>et al.</i> 2001
	50			8,0	exterior	
	100			6,4	Interior	
	50			5,8	interior	
	50		LD	5,9	Duroc 1	Ramírez <i>et al.</i> 2007
				3,3	Duroc 2	
	100	H	LD	19,4 MS	control	Barbero <i>et al.</i> 2013
				25,1 MS	CG no racionado	
				24,2 MS	CG racionado	
				15,4 MS	CL racionado	
	50	H	LD	5,8	A	Isabel <i>et al.</i> 2014
				5,3	B	
				6,5	C	
100	H C	SM	4,6	Control	Ayuso <i>et al.</i> 2015a	
			6,8	RV A temprana		
			5,6	RV A tardía		
Genética	100	M	LD	6,1		Óvilo <i>et al.</i> 2014b
	50			4,3		
	100	M	BF	2,2		Ayuso <i>et al.</i> 2015b
	50			1,7		
	100	M C	LD	4,1		Ayuso <i>et al.</i> 2015b
	50			2,9		
	50		LD	8,0		Usero <i>et al.</i> 2016
	50	H	LD	27,7 MS		
	50	M		28,0 MS		
	50	H		25,8 MS		
	50	M		30,1 MS		
	50	H		24,0 MS		
	50	M		26,9 MS		
50	H		23,9 MS			
50	M		25,4 MS			

¹100: ibérico 100%; 50: ibérico 50% Duroc; ²M: Macho; H= Hembra; MC= Macho castrado; HQC = Hembra quirúrgicamente castrada; HIC = hembra inmunológicamente castrada; ³LD= *longissimus dorsi*; LT= *Longissimus thoracis*; BF= *Biceps femoris*; SM: Semimembranoso ⁴MS = materia seca.

Tabla 2.5. Revisión del contenido de GIM en carne fresca de cerdo blanco

	Raza ¹	Sexo	Pieza	GIM, %	Detalles	Autor
Sexo	Dux(LxLW)x(PxLW)	M C	LD	3,4		Latorre <i>et al.</i> 2003
		H		2,7		
	Dux(LxLW)	H	LT	4,3		Daza <i>et al.</i> 2014
		H IC		5,0		
	Dux(DxLxLW)	H	LD	7,5		Segura <i>et al.</i> 2015
		M		8,2		
Cría	Du	NS	LD	1,4	Sebo	Flachowsky <i>et al.</i> 2008
				1,3	Oliva	
				1,1	Soja	
				1,4	Linaza	
	Du	H	LD	3,6		Olivares <i>et al.</i> 2009

¹ LxLW: Landrace x Large White; Du: Duroc; P: Pietrain; ²M: Macho; H= Hembra; MC= Macho castrado; HIC = hembra inmunológicamente castrada; ³LD= *longissimus dorsi*; LT= *Longissimus Thoracis*; BF= *Biceps Femoris*; SM: Semimembranoso

2.3.5.2.- Composición en ácidos grasos

El principal factor que influye en la composición en AG y calidad de la grasa del cerdo es la alimentación, dado que condiciona la síntesis endógena, la beta-oxidación y la acumulación directa de AG. También tienen efecto el genotipo, el sexo, la edad o el tipo de músculo analizado.

El cerdo es un animal monogástrico, por lo que la grasa ingerida se acumula casi sin sufrir modificación en su composición en AG, reflejando de un modo más o menos preciso las características de la grasa consumida en la dieta (Cava *et al.*, 1999; De Pedro, 1999; Lebret, 2007). El tejido adiposo subcutáneo está compuesto en su mayoría por triglicéridos (lípidos neutros). En el cerdo este depósito graso tiene una tasa de recambio lenta (de más de 150 días), por lo que se relaciona con la alimentación recibida mucho antes del sacrificio (Cava *et al.*, 1999), la GIM como hemos dicho antes se deposita a edades más tardías que la grasa subcutánea, por lo que se la relaciona más con la alimentación recibida en las últimas fases de cebo, está compuesta por lípidos neutros (mayoritariamente triglicéridos) y lípidos polares (fosfolípidos). En el cerdo blanco la proporción de lípidos neutros/polares es de 80/20, mientras que en el cerdo ibérico llega a 90/10 (Cava *et al.*, 1999). Los triglicéridos y los fosfolípidos tienen distinta tasa de renovación: en los primeros se realiza de forma lenta, por lo que serían reflejo de la alimentación en las primeras fases de cebo, mientras que los fosfolípidos tienen tasas de renovación rápidas y serían reflejo de la alimentación en las últimas fases del cebo (Cava *et al.*, 1999).

El perfil de AG de la carne es importante a nivel tecnológico ya que puede estar ligado a problemas de oxidación lipídica, migración de agua o textura de la grasa. Además, se relaciona con la correcta maduración, sabor y olor de los productos cárnicos (Chizzolini *et al.*, 1998; López-Bote, 1998).

El cerdo ibérico por ese elevado potencial adipogénico y tendencia al engrasamiento especialmente a nivel subcutáneo, presenta un perfil característico con una mayor proporción de AG monoinsaturados, en gran parte originados por síntesis endógena destacando el C18:1n-9, y con una menor cantidad de AG poliinsaturados, AG esenciales provenientes de la dieta, que en las razas magras (Serra, 1998; López-Bote *et al.*, 2000; Barea *et al.*, 2013). Para explicar las diferencias entre razas, se ha sugerido que la raza ibérica tiene una mayor síntesis endógena de lípidos, AG saturados ácido palmítico (C 16:0) y ácido esteárico (C 18:0), y una mayor capacidad de desaturación para la síntesis de ácido palmitoleico (C 16:1n-9) y ácido oleico (C18:1n-9), este proceso requiere un mayor coste energético grande que ayudaría a explicar su menor eficiencia energética (Barea *et al.*, 2013). Por otro lado, se ha comprobado una mayor expresión de enzimas lipogénicas y desaturasas musculares en ibéricos 100% a distintas edades (Óvilo *et al.*, 2014a; Ayuso *et al.*, 2016). Entre los AG poliinsaturados destaca el Ácido linoleico (18:2n-6) que es un AG poliinsaturado esencial, es decir, sólo se obtiene a través de la dieta. Este AG juega un papel esencial en la consistencia de la grasa y, en el cerdo ibérico, su acumulación menor que

en las razas magras está relacionada tanto con su consumo como con la capacidad de utilizarlo a través de la beta-oxidación (Isabel *et al.*, 2014).

Además, en el perfil de AG del cerdo hay que prestarle especial atención a la relación de ácidos grasos-poliinsaturados omega-6:omega-3 que son de gran importancia para la alimentación humana y que en algunos productos del cerdo ibérico de bellota puede encontrarse en una proporción adecuada para tener efectos positivos sobre la salud como proporcionar una actividad antiinflamatoria, es sobradamente conocido que los alimentos que contienen alto ácido oleico y una baja proporción omega-6:omega-3 muestran propiedades antiinflamatorias al producir cambios importantes en la composición de la microbiota intestinal, potenciando varios géneros bacterianos con actividad beneficiosa antiinflamatoria y tienen un fuerte efecto preventivo contra los síntomas de colitis ulcerosa (Fernández *et al.*, 2020). En conjunto, bajar la relación omega-6:omega-3 en la dieta a 5:1 puede ser beneficioso para los perfiles lipídicos en la sangre, y para mejorar el valor nutricional de la carne de cerdo, sin efecto adverso sobre el rendimiento del crecimiento y los parámetros de calidad de la carne que están relacionados con la aceptación del consumidor (Liu y Kim, 2017).

La alimentación con pienso se suele dar en explotación intensivas o semiintensivas y, la alimentación con bellota y hierba, en explotaciones donde los cerdos ibéricos en su fase de acabado saldrán al campo para consumir exclusivamente estos dos alimentos, por lo tanto, según el tipo de alimentación y su perfil de AG, Tabla 2.6. el animal, dependiendo de su genotipo almacenará un perfil de AG particular en su grasa subcutánea, Tabla 2.7.

Tabla 2.6. Composición de dietas de acabado para cerdo ibérico de bellota y cerdo blanco intensivo (Estévez *et al.*, 2006)

Composición ^a	Cerdo ibérico		Cerdo blanco
	Hierba	Bellota	Concentrado
% Humedad	89,20	46,10	10,60
% Grasa	6,26	5,05	2,32
% Proteína	4,34	4,31	15,20
% Ceniza	0,91	1,17	9,09
% Ácidos grasos ^a			
C14:0	3,64	0,18	0,36
C16:0	14,00	11,80	16,70
C16:1 n-7	2,40	0,10	0,15
C18:0	1,99	0,56	7,57
C18:1 n-9	5,24	67,30	31,30
C18:2 n-6	11,40	18,70	39,70
C18:3 n-3	57,80	0,25	2,84
C20:0	2,40	0,25	0,35
C20:1 n-9	0,17	0,51	0,70
C20:2 n-6	0,03	0,09	0,18
C20:4 n-6	0,94	0,26	0,12

^aExpresada sobre % de materia fresca; AG expresados como % del total de AG analizados.

Tabla 2.7. Composición de AG (medias \pm desviación estándar) de tejido adiposo subcutáneo de cerdo ibérico en extensivo (150 kg PV, 14 meses edad de sacrificio) y blanco en intensivo (85 kg PV, 7 meses de edad de sacrificio) (Estévez *et al.*, 2006)

Ácidos grasos ^a	ibérico	blanco	p ^b
C14:0	1,04 \pm 0,03	1,03 \pm 0,03	0,851
C16:0	18,30 \pm 0,25	22,10 \pm 0,18	<0,001
C16:1 n-7	2,01 \pm 0,05	2,36 \pm 0,21	<0,001
C18:0	8,01 \pm 0,31	12,80 \pm 0,50	<0,001
C18:1 n-9	57,40 \pm 0,43	46,80 \pm 0,28	<0,001
C18:2 n-6	8,85 \pm 0,11	10,70 \pm 0,13	<0,001
C18:3 n-3	0,14 \pm 0,00	0,18 \pm 0,10	<0,001
C20:0	0,16 \pm 0,02	0,21 \pm 0,02	0,006
C20:1 n-9	1,69 \pm 0,04	1,08 \pm 0,02	<0,001
C20:2 n-6	0,58 \pm 0,01	0,48 \pm 0,05	0,003
C20:4 n-6	0,51 \pm 0,00	0,19 \pm 0,01	<0,001

^a Ácidos Grasos expresados como porcentaje del total de AG analizados.

^b Significancia estadística T-test Student para las variables independientes.

Otros autores (Daza *et al.*, 2007c) presentan en su publicación la siguiente composición química de la bellota y la hierba, Tabla 2.8.

Tabla 2.8. Composición química y de AG de la bellota y la hierba

Composición ^a	Hierba	Bellota
% Humedad	77,01	33,22
% Grasa	6,49	6,74
% Proteína	14,39	4,82
% Ceniza	6,79	1,49
% Ácidos grasos ^a		
C14:0	0,40	0,07
C16:0	14,58	12,32
C16:1 n-7	0,33	0,09
C18:0	2,01	3,38
C18:1 n-9	9,56	64,8
C18:2 n-6	12,42	14,71
C18:3 n-3	47,54	1,09
C20:0	0,08	0,32

^aExpresada sobre % de MS; AG expresados como % del total de AG analizados.

2.4.- Necesidades nutricionales del porcino ibérico puro y cruzado. Recomendaciones

2.4.1.- Necesidades nutricionales en ibérico puro

La raza porcina ibérica se caracteriza por una baja eficiencia productiva, crecimiento más lento, limitado desarrollo muscular, y gran capacidad de acumulación de grasa corporal en comparación con las razas porcinas modernas (Nieto *et al.*, 2002; Barea *et al.*, 2007).

En los siguientes estudios en machos ibéricos castrados y de estirpe Silvela, se demostró que las necesidades de energía y proteína de crecimiento, entre 15 a 50 kg PV, (Nieto *et al.*, 2002) y cebo, entre 50 a 100 kg PV, (Barea *et al.*, 2007) de cerdos ibéricos puros difieren claramente de aquellos que fueron publicadas para genotipos convencionales o magros a misma etapa de crecimiento. El ratio de proteína-energía de la dieta de cerdos ibéricos es considerablemente más bajo, tanto para crecimiento (15 a 50 kg PV; (Nieto *et al.*, 2002)) como acabado (50 a 100 kg BW; (Barea *et al.*, 2007)) comparado con cerdos de mayor potencial genético en la PD. La selección por tejido magro en porcino mejora los índices de velocidad de crecimiento diario, índice de conversión, retención de N y eficiencia en la retención de N indiferentemente del periodo en ibérico (Nieto *et al.*, 2002; Barea *et al.*, 2007; García-Valverde *et al.*, 2008) y otros genotipos (Campbell y Taverner, 1988; Quiniou *et al.*, 1996; Noblet *et al.*, 1999, etc.).

Los coeficientes TTAD y / o capacidad digestiva entre las razas porcinas autóctonas y las de tipo magro son controvertidos. Algunos autores respaldan que los cerdos autóctonos pueden digerir energía y nutrientes de la dieta mejor que los cerdos tipo magro debido al incremento de la actividad de la microflora y enzimas digestivas en el intestino o el más alto tiempo de retención de la ingesta en el intestino posterior en experimentos llevados a cabo bajo una ingesta similar de alimento para ambos tipos de cerdos (Kemp *et al.*, 1991; Freire *et al.*, 2003) o más alto consumo de alimento medio para cerdos grasos (Len *et al.*, 2009). En contraste, hay algunos informes, en los cuales la selección de razas por mayor contenido magro se asocia a mayor digestibilidad de nutrientes y energía y una menor tasa de tránsito digestivo. (Varel *et al.*, 1988; Ly *et al.*, 1998). Cerdos *landrace* con respecto a cerdos ibéricos presentaron mayor rendimiento de crecimiento, retención de N y eficiencia de retención de N asociado con algunas variaciones estructurales del intestino delgado, que puede tener algunas consecuencias menores en la absorción de nutrientes. En consecuencia, la mayor tasa de crecimiento y la mejoría de G: F pueden derivarse de una mejor eficiencia de la utilización de N y la absorción de nutrientes y digeridos que producen energía.

Se requiere investigación complementaria para comprender mejor los mecanismos fisiológicos y bioquímicos responsables de estas variaciones y para desentrañar las diferencias en el potencial de crecimiento entre estos tipos de cerdos (Barea *et al.*, 2010).

El potencial de crecimiento y las necesidades de nutrientes del lechón ibérico, machos puros castrados y de estirpe silvela, cuantificando como el lechón utiliza la energía y proteína de la dieta para la deposición de nutrientes y para las funciones de mantenimiento corporal (Conde-Aguilera *et al.*, 2011a).

El máximo rendimiento del lechón bajo las condiciones experimentales del estudio de (Conde-Aguilera *et al.*, 2011a) de 10 a 25 kg PV, se obtuvo cuando los lechones fueron alimentados con dietas que contenían 201 g de PB/kg de MS, en una dieta al 0,95 % de la alimentación *ad libitum*, alcanzado una media de ganancia diaria de 416 g (GMD) y 60 g de proteína depositada al día (PDmax). Las dietas utilizadas contenían 11,0 g de proteína digestible/MJ EM. La eficiencia marginal de la deposición proteica fue de 4,39 g/MJ. Se calculó por regresión lineal del consumo de EM en retención de energía corporal, las necesidades de energía de mantenimiento ($EM_m = 427 \text{ KJ/kg de PV}^{0,75 \cdot d^{-1}}$) y la eficiencia neta de utilización de la EM para crecimiento ($kg = 0,552$), también cálculo la eficiencia neta de utilización de la EM para proteína ($kp = 0,378$) y la eficiencia neta de utilización de la EM para grasa ($kf = 0,672$), después de deducir la correspondiente cantidad de EM necesaria para el mantenimiento, la cual se obtiene de la ecuación de EM_m para estimar la fracción de consumo de EM utilizada para propósitos productivos, del total de EM consumida para cada lechón.

Por otro lado, para la fase de cerdo ibérico puro, machos castrados y de estirpe silvela, de 15 a 50 kg de PV, (Nieto *et al.*, 2002), el máximo rendimiento obtenido fue en cerdos alimentados con 129 g de PB / kg MS en una dieta al 0,95 % de la alimentación *ad libitum*, alcanzado una media de ganancia diaria de 559 g (GMD) y 74 g de proteína depositada al día (PDmax), las dietas utilizadas contenían un 8,49 g PB/MJ EM, equivalentes a 6,87 g de proteína digestible/MJ EM. La eficiencia marginal de la deposición proteica fue de 2,81 g/MJ. Del mismo modo que (Conde-Aguilera *et al.*, 2011a), se calculó para esta fase, las necesidades de energía de mantenimiento ($EM_m = 422 \text{ KJ/kg of PV}^{0,75 \cdot d^{-1}}$) y la eficiencia neta de utilización de la EM para crecimiento ($kg = 0,582$), también cálculo la eficiencia neta de utilización de la EM para proteína ($kp = 0,303$) y la eficiencia neta de utilización de la EM para grasa ($kf = 0,812$).

Para la fase de cerdo ibérico puro, machos castrados y de estirpe Silvela, de 50 a 100 kg de PV, (Barea *et al.*, 2007), el máximo rendimiento obtenido fue en cerdos alimentados con 95 g de PB / kg MS en una dieta al 0,95 % de la alimentación *ad libitum*, alcanzado una media de ganancia diaria de 854 g (GMD) y 71 g de proteína depositada al día (PDmax), las dietas utilizadas contenían un 6,60 g PB/MJ EM, equivalentes a 5,20 g de proteína digestible/MJ EM. La eficiencia marginal de la deposición proteica fue de 1,43 g/MJ. Del mismo modo que (Conde-Aguilera *et al.*, 2011a), se calculó para esta fase, las necesidades de energía de mantenimiento ($EM_m = 396 \text{ KJ/kg of PV}^{0,75 \cdot d^{-1}}$) y la eficiencia neta de utilización de la EM para crecimiento ($kg = 0,606$), también cálculo la eficiencia neta de utilización de la EM para proteína ($kp = 0,218$) y la eficiencia neta de utilización de la EM para grasa ($kf = 0,658$).

Para el último periodo de la fase de cebo del cerdo ibérico (100-150 kg PV) se asume una aproximación de la eficiencia marginal de la deposición proteica de cero, similar a lo que se ha descrito para genotipos de cerdo convencional (Aguilera 2015).

El estudio publicado de (Nieto *et al.*, 2012) calcula los parámetros de utilización energética y proteica del cerdo ibérico puro, machos castrados y de estirpe Silvela, de los estudios de publicados anteriormente por (Nieto *et al.*, 2002; Barea *et al.*, 2007; García-Valverde *et al.*, 2008; Conde-Aguilera *et al.*, 2011a) y (Aguinaga *et al.*, 2011) para su estimación del valor a través de todas las fases por lo que obtiene unos valores globales para la fase de crecimiento de cerdo ibérico hasta los 150 kg de PV, las necesidades de energía de mantenimiento ($EM_m = 413 \text{ KJ/kg of PV}^{0,75} \cdot \text{d}^{-1}$) y la eficiencia neta de utilización de la EM para crecimiento ($k_g = 0,593$), también cálculo la eficiencia neta de utilización de la EM para proteína ($k_p = 0,397$) y la eficiencia neta de utilización de la EM para grasa ($k_f = 0,641$), por lo que el coste energético de EM para la deposición de proteína y grasa alcanza unos valores de 60 y 62 KJ/g respectivamente, considerablemente mayor que en genotipos de cerdo magro convencionales. Y un potencial de 75 g de proteína depositada al día (Pmax). La eficiencia marginal de la deposición proteica se estimó como pendiente de la regresión lineal relacionado entre el consumo de EM y la DP, y serán las de cada fase anteriormente estudiada y en considerando como se dijo anteriormente que para el cerdo adulto es cero.

Por último, el estudio realizado para conocer cuál debería ser el más adecuado perfil proteico para el crecimiento de cerdos ibéricos, (Nieto *et al.*, 2015), lechón ibérico (machos castrados y de estirpe Silvela) de 48 días de edad, la medida que mejor ajustó al contenido de lisina en el pienso para el óptimo crecimiento fue de 63,7 g lisina/kg PB.

2.4.2.- Recomendaciones en alimentación en ibérico

Las recomendaciones nutricionales para la alimentación del cerdo ibérico en intensivo se basan en los estudios realizados para la estimación de las necesidades de cerdos ibéricos puros y en las directrices establecidas por la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA, 2013). Según estas recomendaciones, que se presentan en Tablas en la presente trabajo en el siguiente Anexo, en la Tabla 2.11 aparecen las que corresponderían a cerdas ibéricas según la restricción alimenticia llevada a cabo en la explotación, de forma liberal que cubre las necesidades de la cerda, aportando a la cerda de gestación un mínimo de 2 kg de pienso/d y a la cerda de lactación un mínimo de 4,5 kg/d a partir del 7 día postparto, y de forma restringida que restringe excesivamente las necesidades del animal tanto en gestación como en lactación para el ahorro económico de la explotación, pudiendo disponer de aportes del campo suplementarios. En la Tabla 2.12 aparecen las recomendaciones para cerdos en crecimiento cebo en intensivo y en la Tabla 2.13 para cerdos destinados a la montanera.

Figura 2.8. Cerdo ibérico (50 % duroc) en montanera



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2.14 aparecen las recomendaciones de composición del corrector vitamínico mineral en cerdas del tronco Ibérico (FEDNA, 2013). Minerales, en este caso microminerales o minerales esenciales, que tienen funciones diversas desde estructurales en algunos tejidos a una amplia variedad de funciones regulatorias en otros, incluyendo la eficiencia de uso de proteína y energía a través de su presencia como constituyente de varias enzimas o como cofactores de reacciones enzimáticas. Y vitaminas que son vitales para la salud, bienestar y rendimiento de los animales, fundamentales para una nutrición equilibrada.

En la actualidad, la selección genética que se está realizando en poblaciones concretas de cerdo ibérico hacen necesaria la revisión de estas recomendaciones nutricionales y su adaptación para conseguir un producto homogéneo, competitivo y con las máximas características de la calidad. La diversidad de genotipos, sistemas de producción y objetivos comerciales obligan a tener cautela a la hora de hacer recomendaciones en cerdos ibéricos. Por tanto, los valores recogidos en estas Tablas deben considerarse como meramente orientativos. Uno de los factores más importantes a considerar es el tipo genético utilizado, con necesidades muy superiores para los cruces con duroc que, para ibéricos puros, especialmente si estos pertenecen a estirpes mejoradas (López Bote *et al.*, 2000).

2.4.3.- Restricción alimentaria y crecimiento compensatorio

La restricción del alimento provoca un descenso del crecimiento y una marcada adaptación metabólica que implica cambios estructurales, metabólicos y de regulación. En conjunto estos cambios producen una optimización en el uso de nutrientes (FEDNA, 2013). Niveles de proteína en el pienso por debajo de las necesidades del genotipo limitarán la PD. Siendo especialmente importante, una vez terminada la etapa de restricción e iniciada la de realimentación, puede ocurrir el crecimiento compensatorio (De Greef, 1992; Friesen *et al.*, 1996). En el estudio realizado por Fabian *et al.* (2004) con cerdos cruzados (yorkshire x duroc) de crecimiento-cebo observaron que los alimentados en la fase de crecimiento con un 55 % de contenido de lisina menor, compensaron su crecimiento posterior en la etapa de cebo, obteniendo una eficiencia general mayor y reduciendo la excreción de N.

Y por otro lado también niveles de consumo de energía por debajo de las necesidades del genotipo limitarían el crecimiento. El consumo de EM es un factor crítico para determinar la tasa de crecimiento. Los conceptos de control y regulación del consumo de pienso han sido revisadas a fondo en los diferentes autores (NRC, 1987; Kyriazakis y Emmans, 1999b; Ellis y Augspurger, 2001; Torrallardona y Roura, 2009). Donde Bridges *et al.* (1986) propusieron la siguiente ecuación de predicción para predecir la EM consumida (EMconsumo):

$$EM_{consumo} = a \times (1 - \exp(-\exp(b) \times PV^c)) \quad \text{Función de Bridges}$$

Como curva de referencia basada en la función de Bridges, parametrizada por Schinckel *et al.* (2009) para condiciones prácticas concretas para el crecimiento de cerdos sin tener en cuenta el desperdicio de pienso, función equivalente a la media entre machos castrados y hembras:

$$\text{Consumo de EM referencia (kcal/día)} = 10,563 \times (1 - \exp(\exp(-4.04) \times PV))$$

Los cerdos restringidos tienen un mejor aprovechamiento digestivo que los alimentados *ad libitum*. Se ha descrito una disminución de los gastos de mantenimiento en animales restringidos (Campbell y Dunkin, 1983b), lo que explica en parte el efecto de la eficiencia de uso del alimento. Además, este efecto se prolonga 2-3 semanas si el periodo de restricción se sigue de alimentación *ad libitum*, lo que supone una base para comprender el crecimiento compensatorio.

La reducción del aporte de energía reduce la retención de magro, pero esta penalización es de mucha menor intensidad que la penalización que recibe la acumulación de grasa. Este dato es interesante en cerdos muy grasos (cerdo ibérico), ya que un menor consumo energético durante la fase de restricción apenas penaliza la retención de magro, por lo tanto, la prolongación del cebo a la larga genera cerdos con mayor contenido magro.

Por otra parte, la restricción provoca un marcado descenso en el recambio proteico (turnover proteico). La información disponible indica que los procesos de catabolismo (actividad de enzimas proteolíticas) se ven afectadas mucho más profundamente por la restricción que la actividad de síntesis (Kristensen *et al.*, 2002).

Durante la fase de realimentación los cerdos muestran un crecimiento compensatorio, esto es, un crecimiento rápido debido a las condiciones de disponibilidad de alimento (Ayuso, 2016), que se prolonga durante al menos 4-6 semanas (Campbell y Dunkin, 1983b; Daza *et al.*, 2008). Entre los factores que tienen lugar durante el crecimiento compensatorio se encuentran todos señalados anteriormente, ya que existe un periodo adaptativo a un cambio brusco en el aporte de alimento en el que conviven una adaptación previa que permite la máxima eficiencia en el aprovechamiento de nutrientes (cambios hormonales, enzimáticos, etc.) con el aporte abundante de nutrientes en esta nueva etapa. El periodo en el que se vuelve a encontrar un equilibrio se establece en 4-6 semanas, si bien es preciso indicar que la adaptación es progresiva y, por tanto, cada vez las diferencias son menores con el grupo que no experimenta crecimiento compensatorio.

La posibilidad de que se llegue a compensar totalmente el retraso en el crecimiento depende del nivel de restricción. No existe suficiente información en este sentido, pero una restricción superior al 30 % del consumo *ad libitum* no parece compensable. Asimismo, es importante el estado de desarrollo de los animales en el momento del inicio de la restricción. Si la restricción se lleva a cabo en etapas iniciales, puede afectar a la capacidad de síntesis proteica en individuos adultos (Wigmore y Stickland, 1983), así como a la diferenciación celular y a mecanismos epigenéticos (Torres-Rovira *et al.*, 2012). Este es un área de investigación activa que sin duda generará información relevante en los próximos años.

2.5.- Modelización

Los resultados experimentales obtenidos durante los últimos 30 años en materia de utilización energética y de aminoácidos por los cerdos en su fase de crecimiento y reproductiva, permiten la determinación de sus necesidades nutricionales de acuerdo con un rendimiento objetivo (método factorial) y/o predecir la respuesta del animal a los nutrientes aportes (modelado) y necesitan ser adaptados o desarrollados para permitir dichas predicciones en entornos ambientales diversos, contemplando las distintas líneas genéticas actualmente en producción, etc. con el fin último de ser utilizados para el desarrollo de nuevas estrategias de alimentación y, por tanto, optimizar la producción.

Se han venido desarrollando varios modelos matemáticos para predecir el aprovechamiento y la deposición de nutrientes, en su mayoría referidos a las fases de crecimiento y engorde. Sin embargo, existe menos información respecto a las fases reproductivas (gestación y lactación) y sólo unos pocos, de mayor o menor complejidad, se han publicados para las cerdas a lo largo de su vida reproductiva (Williams *et al.*, 1985; Pomar *et al.*, 1991; Dourmad *et al.*, 1997; NRC, 1998; Daza *et al.*, 2004; Dourmad *et al.*, 2005; Dourmad *et al.*, 2008; Hansen *et al.*, 2012; NRC, 2012; FEDNA, 2013; Hansen *et al.*, 2014) y, la mayoría de ellos, son modelos de investigación.

2.5.1.- Conceptos fundamentales

Los modelos de crecimiento del cerdo representan como la retención de proteína, agua, cenizas y lípidos, y cambios en cualquiera de estos componentes corporales contribuye a cambios en el peso corporal.

Las mediciones de la composición corporal y de la producción de leche, por ejemplo, pueden ser muy laboriosas y costosas de llevar a cabo y, por tanto, no se hacen muy a menudo, por lo que los modelos matemáticos pueden ser una herramienta muy eficaz para describir y generalizar los procesos metabólicos.

Un aspecto importante que considerar en el desarrollo de estos modelos es que los datos deben ser relevantes para los sistemas de producción actuales, pero teniendo en cuenta que cambian rápida y continuamente (debido, fundamentalmente, al progreso genético de las cerdas). Por tanto, es importante generar los datos apropiados y validarlos en los diversos modelos para su correcta adecuación a un hato simulado dado ya que, de lo contrario, se producirán desviaciones muy significativas en las predicciones.

Está bien establecido que los aportes nutricionales de los piensos difieren entre grupos de cerdos y se ven influidos por el estado fisiológico del animal, parto, genética, su potencial de productivo y las condiciones ambientales.

Los modelos matemáticos que describan cada uno de estos aspectos son mecanicistas, dinámicos y, muchas veces, deterministas en la representación biológica del aprovechamiento de los nutrientes y la de energía aportados por el pienso a nivel de todo el animal (NRC, 2012).

Los modelos pueden ser considerados mecanicistas desde el punto de vista que matemáticamente representan los principios biológicos que se sabe que influyen en las necesidades de los distintos nutrientes. Y que, sin embargo, y necesariamente, contienen elementos empíricos para hacer que las estimaciones sobre las necesidades de nutrientes generadas sean consistentes con las observaciones de campo. Además, deben representar todos estos aspectos de manera dinámica con el fin de explorar las necesidades nutritivas a lo largo del tiempo y durante las sucesivas fases productivas. Sin embargo, muchos modelos son deterministas en la estimación de las necesidades nutricionales, ya que lo hacen para grupos de animales sin representar explícitamente la variabilidad entre ellos. No obstante, se puede ir más allá y considerar esta variabilidad individual implícitamente en los modelos mediante el desarrollo de potentes herramientas matemáticas iterativas que ajusten estas estimaciones a nivel individual (o sea para cada individuo, su modelo) (Pomar, 2014).

Este doble enfoque podrá dar lugar al uso de modelos “a priori” o predictivo en su vertiente de simulación y de cálculo de necesidades de un hato determinado y “a posteriori” o prospectivo con el fin de determinar si se están aplicando correctamente las pautas nutritivas adecuadas o la respuesta productiva es la esperada.

Dado que la dinámica metabólica y fisiológica de la fase de gestación difiere enormemente de la de lactación, se hace necesario el desarrollo de submodelos independientes poniendo especial énfasis en cuantificar y ajustar a las particularidades ocurridas en el momento del parto como enlace entre los dos modelos, que, llegado el caso, pueden enmarcarse conjuntamente dentro de un modelo de crecimiento que explique con precisión las variaciones de peso de las cerdas a lo largo de su vida productiva.

2.5.2.- Modelo de crecimiento

Dadas unas condiciones ambientales adecuadas, los animales aumentarán su peso con el paso del tiempo hasta que ellos alcanzan su tamaño de madurez.

La función de Gompertz modificada por van Milgen *et al.* (2008), puede ser útil como modelo de crecimiento ya que usa el parámetro que describe la precocidad de los cerdos (Brossard *et al.*, 2009), característica para cada línea genética junto con la edad y PV a la primera cubrición y el peso a la madurez (peso medio de las cerdas de último ciclo).

Estos modelos de crecimiento nos servirán para describir la dinámica metabólica de los animales en la fase de crecimiento tanto en cerdas en recría a fin de encuadrar todos los modelos metabólicos a lo

largo de la vida productiva de la cerda y de sus balances de PV durante los sucesivos periodos de crecimiento, gestación y lactación en su entorno de crecimiento, desde su primera cubrición hasta su último ciclo de gestación, cercano a su peso adulto o de madurez, como en machos y hembras destinadas al engorde hasta su sacrificio.

En base a los modelos de crecimiento y consumo de pienso, se realizarán las estimaciones de PD y LD conforme al modelo de crecimiento-cebo adaptado del modelo francés INRAPORC descrito por van Milgen y cols. (2000, 2005 y 2008) y de las necesidades energéticas y proteicas establecidas por Noblet y cols. (1987, 1994 y 1999) y se realiza la correspondiente propuesta nutricional para la fase de crecimiento-cebo por genotipo, sexo... Donde el ajuste modelizado de los cambios corporales de los animales, PV, proteína, grasa y cenizas se establecerá mediante la descripción matemática de la ecuación de Gompertz (Martínez *et al.*, 2010), y sus diferentes versiones reparametrizadas (Aubry *et al.*, 2004).

$$y = ae^{-e^{b-cx}}$$

Ecuación de Gompertz

Donde para modelizar el cambio de peso del cerdo con respecto al tiempo con esta ecuación, “y” es el peso en función del tiempo y de otros tres parámetros constantes como son el peso a la madurez a, el coeficiente de crecimiento o la precocidad “k” y la edad al punto de inflexión de la curva o lo que es lo mismo edad a la máxima ganancia de peso por el tiempo “xc” que componen los parámetros “b” y “c” de la ecuación, donde el parámetro $c > 0$ describe el índice de madurez o la tasa específica de crecimiento, y el parámetro $b > 0$ controla la diferencia entre el peso inicial y el peso final a un tiempo t. El punto de inflexión (P.I.) es el punto en el tiempo donde $y = a/\exp$, este da un $t = b/c$. La curva de Gompertz permite generar simetría alrededor del punto de inflexión y alcanza este punto antes del 50 % de peso adulto. Y “a” se conoce como el peso asintótico debido a que corresponde a una asíntota horizontal de la función, cuando el peso en el tiempo alcanza la asíntota, este es el peso adulto que logra alcanzar el animal.

La primera derivada de la función de Gompertz corresponde a la velocidad de crecimiento, Gráfico 2.3, y se puede escribir de la siguiente manera $dy/dx = -c \ln(y/a)$, el punto de inflexión o punto donde la curva describe el máximo de la mayor velocidad de crecimiento (P.I. Max ganancia), Gráfico 2.2, se encuentra cuando se iguala a cero la segunda derivada. La fase lag, (Punto de corte con abscisas), Gráfico 2.2, es la edad cuando la recta tangente (Tangente al P.I), Gráfico 2.2, al punto de inflexión corta al eje de abscisas, y es el periodo con una tasa de crecimiento prácticamente nula donde se presenta la maduración del sistema inmunológico y se estructura el mantenimiento (Casas *et al.*, 2010).

Gráfico 2.2. Propiedades de la curva de crecimiento descrita por la ecuación de Gompertz (1825)

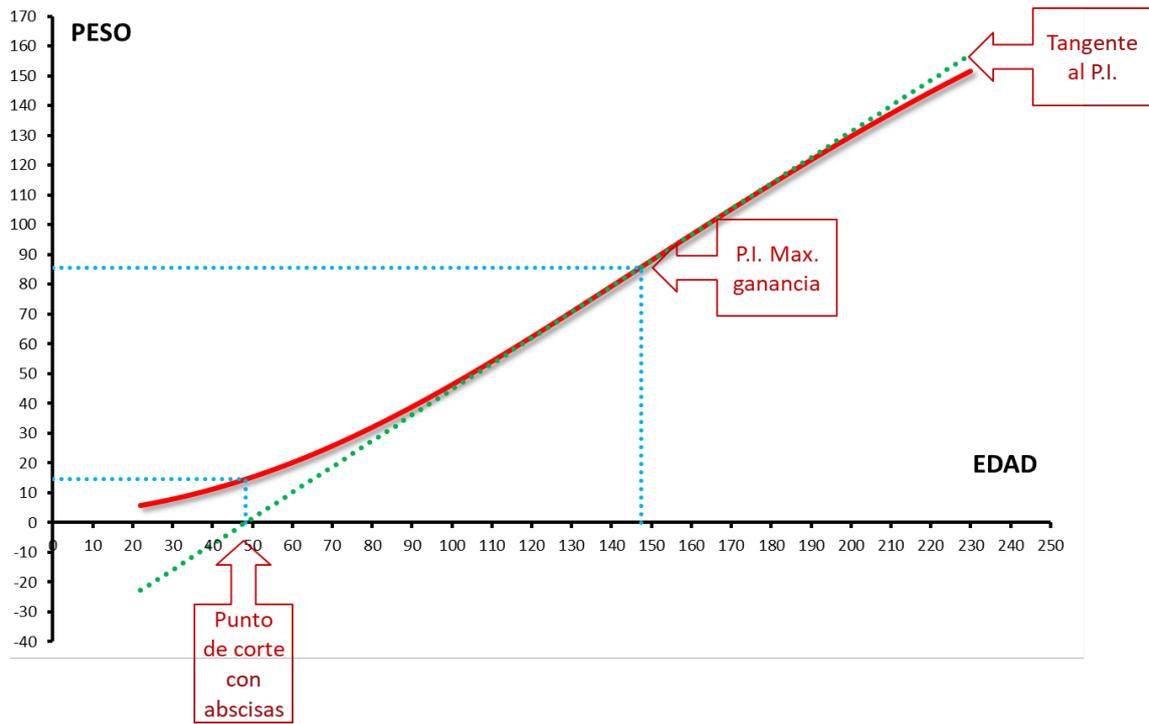
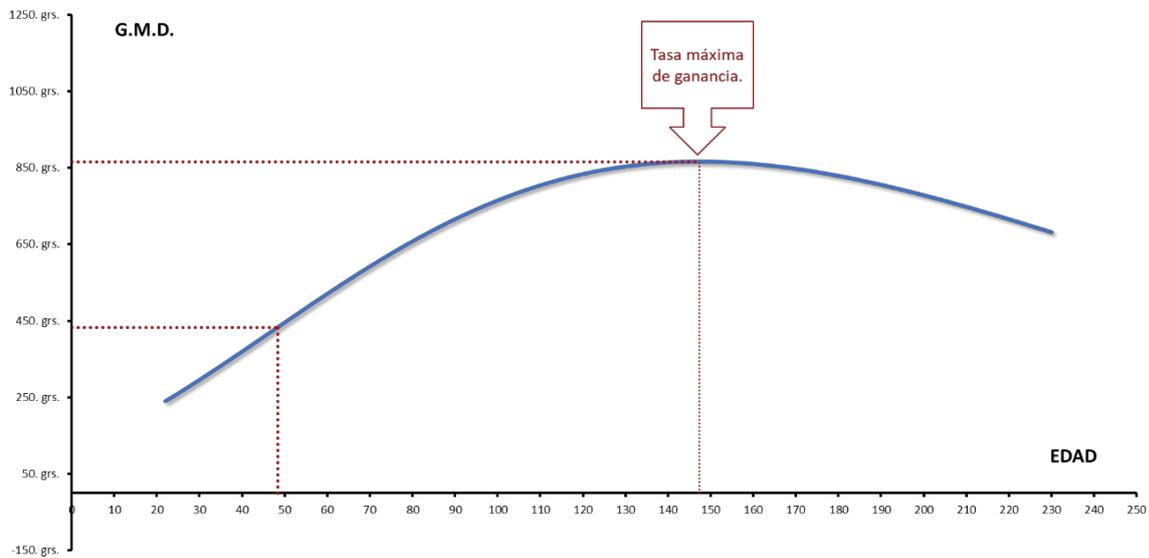


Gráfico 2.3. Propiedades de la curva de ganancia de peso descrita por la derivada de la ecuación de Gompertz



La ecuación de Gompertz (1825) reparametrizada por van Milgen (Aubry *et al* 2004), para describir el crecimiento del cerdo de manera práctica es la siguiente:

$$PV(EDAD) = PV2 \frac{\left[\frac{-\{e^{-B(Edad2-Edad1)} - e^{-B(EDAD-Edad1)}\}}{(-1 + e^{-B(Edad2-Edad1)})} \right]}{PV1}$$

Ecuación de Gompertz reparametrizada (Aubrey *et al.*, 2004)

Donde la evolución del PV en el tiempo depende exclusivamente del parámetro constante B, que es la tasa de crecimiento o precocidad y los parámetros cuantificables en dos periodos de tiempo de peso y edad, como son el PV1 es el peso inicial, el PV2, es el peso final, Edad 1, es la edad inicial, Edad 2, edad final y la variable edad.

Según hemos visto en la revisión bibliográfica sobre necesidades nutricionales de los animales, se puede decir que vendrán dadas por características específicas del animal (genética, sexo, estado fisiológico) y las condiciones ambientales y de manejo en las que se críen (sanidad, limpieza, superficie de alojamiento, tipo de alojamiento, alimentación, control ambiental del alojamiento).

Si extraemos del modelo de crecimiento el factor del efecto ambiental y lo consideramos como ideal para que la expresión fenotípica del crecimiento sea la máxima que dicten los genes, se obtendrá el modelo de la LD y PD potencial del animal a lo largo del tiempo que vendrá determinada exclusivamente de la genética y del sexo, que nos servirá para determinar las necesidades nutricionales y diseñar un programa de alimentación óptimo que cubrirá las necesidades nutricionales del animal para obtener su máximo potencial de crecimiento. A parte de la capacidad de crecimiento magro y graso a genética determina la capacidad de consumo que será determinante a la hora del diseño de programas de alimentación de los animales.

La deposición de grasa y de magro también se ve afectada por el sexo del animal. Los machos enteros tienen una capacidad mayor de retención de magro que las hembras y éstas a su vez más que los machos castrados (Collel, 2010). Por lo tanto, si se puede proporcionar una alimentación diferenciada por sexos, el ajuste a las necesidades del animal es mayor y se mejora la eficiencia. La energía es el nutriente más crítico de la ración, el más caro y uno de los que más limita la expresión del potencial del crecimiento de los cerdos.

Para el cálculo del nivel de inclusión eficientemente de la energía como nutriente en las dietas de los animales, uno de los aspectos clave como se ha expuesto anteriormente es conocer la relación que existe entre el consumo de energía y la acumulación proteica, determinada por el genotipo del animal.

En cerdos jóvenes (hasta 45-50 kg PV), la capacidad de ingestión limita la PD, de tal forma que cuando se ha evaluado esta, en respuesta a niveles crecientes de ingesta de energía con dietas equilibradas, sólo se observa una relación lineal y no la meseta, que indica que se ha alcanzado el PDmax (Campbell *et al.*, 1985a).

En cerdos de más peso (>50 kg PV), el efecto del apetito depende de su perfil genético. Así, en animales convencionales, la ingesta voluntaria de energía supera las necesidades para la PDmax, observándose una tendencia al engrasamiento, particularmente a pesos elevados y siendo más marcada en machos castrados que en hembras, y en éstas más que en machos enteros. Sin embargo, en genotipos mejorados, con una elevada capacidad de deposición proteica, la ingesta necesaria para

lograr el máximo crecimiento de tejido magro puede estar limitada por el apetito del animal, especialmente en líneas muy musculadas que tienen un apetito reducido (p.e. pietrain o sus cruces) (Campbell y Taverner, 1988a).

El aporte de proteína debe estar perfectamente ajustado a las necesidades de los animales en cada fase de crecimiento, ya que un déficit de proteína conlleva una reducción de la GMD, con las pérdidas económicas que esto genera. Por otro lado, un exceso de esta no sólo aumenta los costes de producción, sino que también contribuye a aumentar la contaminación ambiental.

Durante la fase de cebo, el aporte proteico debe cubrir las siguientes necesidades: reposición de las pérdidas por intercambio de proteína tisular, elaboración de enzimas, reposición de células epiteliales del intestino, síntesis de secreciones intestinales y crecimiento del tejido magro en forma de proteína retenida. Sólo un tercio de la proteína ingerida es retenida por el cerdo, eliminándose los dos tercios restantes por las heces y la orina (Dubeau *et al.*, 2011).

Mediante el desarrollo de la modelización de crecimiento, en base a los modelos anteriormente descritos, se conocerá en detalle la dinámica metabólica del cerdo ibérico, “Cebo de Campo” para conocer con exactitud sus necesidades nutricionales y ajustar la alimentación para este genotipo y sistema de explotación tan particular.

Tal y como se ha dicho explicado anteriormente, existen numerosos modelos desarrollados para la alimentación porcina en un sistema de cría convencional. Sin embargo, no existe un modelo de crecimiento estudiado que se ajuste a las condiciones del crecimiento-cebo ibérico, “Cebo de Campo”, por lo que este desarrollará un nuevo enfoque sobre los modelos ya desarrollados adaptado a explicar la dinámica metabólica del cerdo ibérico criado en el sistema de “Cebo de Campo”.

El periodo de crecimiento-cebo en el sistema estudiado en esta Tesis, “Cebo de Campo” comprende un mínimo de 9,2 meses respecto a periodos de 6,7 meses en el sistema de “Cebo”, lo que significa que el crecimiento animal está ralentizado para cumplir con los requisitos determinados en el RD 4/2014 y que redundarán en una mayor calidad de la carne y los productos cárnicos obtenidos debido a la edad, el ejercicio y el bienestar del animal.

Desde un punto de vista nutricional, el aumento en la edad del animal puede determinar un incremento en la capacidad para acumular grasa. Además, el hecho de tener que practicar un ajuste en la ingestión voluntaria alimenticia de los animales complica el modelo de crecimiento-cebo, ya que se deberá tener en cuenta este parámetro y una formulación acorde a estas circunstancias. Una incorrecta relación Energía/Lisina para un consumo determinado determinará la no optimización de la relación magro/grasa en el animal vivo.

La modelización de esta dinámica de crecimiento será capaz de calcular y estimar los cambios corporales que se puedan producir en un animal de crecimiento -cebo de genotipo, de un genotipo de porcino en particular, así como de su ajuste de ingestión voluntaria alimentaria.

Del mismo modo que en los casos precedentes, la predicción se contrasta con las determinaciones en campo del PV, la grasa dorsal y la profundidad del lomo a nivel P2, tanto desde el punto de vista predictivo como prospectivo. Además, se estimarán las consecuencias del modelo en la calidad de la carne y productos cárnicos para maximizar atributos de calidad como el contenido en GIM, el porcentaje de piezas nobles y el porcentaje de mermas en el periodo de secado de las piezas.

La adaptación de la nutrición a las características de la granja implica la consideración de complejas interacciones entre numerosos factores, muchos de ellos conocidos, pero en su mayor parte poco cuantificados con precisión. Estos factores son:

- Raza, línea genética y sexo.
- Condiciones ambientales (temperatura, humedad, ventilación, iluminación, ruido...)
- Alojamiento (densidad, tipo de pavimento, tipo comedero/bebedero, espacio de comedero, diseño de cuadras).
- Sanidad (estrés inmunitario, prevalencia de enfermedades, programas preventivos y terapéuticos, vacío sanitario).
- Alimentación (presentación física del pienso, volumen, restricción, calidad y disponibilidad de agua).
- Manejo (sistema de producción, edad y peso de las diferentes etapas, tamaño de lote, manipulaciones en granja).

Aunque la utilización de la modelización puede ser objeto de críticas, es indudable que, si el método está bien validado, la estimación razonablemente precisa de la evolución del crecimiento y de la dinámica de la DP y LD a lo largo del engorde es una herramienta valiosa para predecir las necesidades de los animales y poder ajustar los niveles nutricionales en los piensos. El método permite, además, definir mejor en qué momento debe hacerse el cambio de unas dietas a otras durante el engorde y establecer programas de alimentación que pueden ser diferentes según explotaciones en función de la genética utilizada, la calidad de las instalaciones y el manejo.

2.5.3.- Modelo de gestación

La gestación de la cerda dura alrededor de 114 días. Suponiendo que, en promedio, las cerdas son capaces de tener 2,4 partos al año, alrededor de 280-290 días a lo largo del año (80% de las veces) está en periodo de gestación. A pesar de esto, la gestación es una etapa muchas veces olvidada dentro del ciclo reproductivo de la cerda, ya que, al parecer, sólo "pequeñas cosas" ocurren en este periodo, además de estar muy sometida a impactos económicos. Los requerimientos de energía y nutrientes a

lo largo de la gestación son bajos (1,3 veces el mantenimiento en promedio), y el régimen alimenticio es restringido, a fin de mantener una condición corporal óptima al momento del parto.

En consecuencia, el manejo nutricional durante la gestación tiene como objetivo satisfacer las necesidades de crecimiento maternas y fetales y debe considerarse como vehículo conductor responsable de los acontecimientos que ocurrirán en el parto y postparto, la nutrición que reciba la cerda durante la gestación y en el periparto condicionará:

- La producción lechera de la cerda, en cuanto a cantidad y calidad.
- La madurez fisiológica de los lechones al nacimiento, en cuanto a vitalidad y en último extremo, en el resultado final de la calidad de la carne.
- La correcta condición corporal de la cerda para continuar con éxito los siguientes ciclos productivos de su vida.

El modelo descrito por el NRC (2012) es una adaptación y actualización, tras una extensa revisión bibliográfica, de los trabajos publicados por Dourmad *et al.* (2008) y Dourmad *et al.* (1999) que sirvieron de base para el desarrollo del modelo INRAPORC del INRA francés y es, hoy día, punto de partida para cualquier investigación relacionada.

En dicho modelo, la ingesta de energía diaria por parte de la cerda tiene que ser definido previamente y puede variar a lo largo de la gestación (curva de alimentación).

El PV de la cerda y las ganancias útero vacío y del tejido mamario se consideran parte corporal materna y las ganancias de los fetos, placenta y fluidos intrauterinos se considera el *conceptus*.

En este modelo se identifican seis compartimentos de deposición de proteína diferentes dependientes tanto del tiempo como del consumo de energía:

- Proteína materna: Deposición de magro maternal, útero y tejido mamario.
- Proteína *conceptus*: Fetos, placenta y fluidos.

Y dos compartimentos de deposición de grasa diferentes también dependientes tanto del tiempo como del consumo de energía:

- Grasa materna.
- Grasa *conceptus*.

La ganancia de proteína y acumulación de energía materna y *conceptus* están determinadas de forma explícita en función del tamaño de camada y del peso de los lechones al nacimiento previstos.

La ganancia de magro maternal aumenta linealmente a medida que aumenta el consumo de energía y varía con el número de gestación y es idéntica en todas sus etapas. La energía ingerida sobrante y que no es utilizada para las funciones de mantenimiento corporal, crecimiento de *conceptus* y la deposición

de proteína maternal, se aprovecha la acumulación de reservas de grasa corporal. Y, por el contrario, cuando el consumo de energía es insuficiente para cubrir las necesidades de todas estas funciones (mantenimiento corporal, ganancia de *conceptus* y acumulación magra), las reservas grasas que tenga el animal se movilizan y se utilizan como fuente de energía.

Los cambios del PV maternal se predicen a partir cambios diarios de ganancia de proteína corporal materno, útero, tejido mamario y grasa. La medición del espesor graso dorsal (EGD) P2 se utiliza como una estimación de la grasa corporal. Las necesidades de aminoácidos digestibles se estiman a partir de las ganancias proteicas de los seis compartimentos, el PV y el consumo de pienso.

2.5.3.1.- Composición corporal de la cerda

La composición corporal de la cerda se representa matemáticamente de acuerdo con Dourmad *et al.*, (1999) y Dourmad *et al.* (2008). El PV total (kg) representa la suma del peso maternal y del peso de *conceptus*. La diferencia entre el PV y el PV vacío maternal equivale al llenado intestinal y que representa alrededor de un 4% del PV maternal. Este PV vacío y la grasa dorsal estimada a partir del espesor P2 se utilizan para generar estimaciones de composición magra (proteica) y grasa materna al inicio de la gestación y su evolución a lo largo de todo el periodo de gestación.

El modelo propuesto por el NRC (2012) es capaz de calcular y predecir todos estos cambios corporales en la cerda, a fin de poder contrastarlos con las mediciones de campo de PV, de EGD y profundidad del lomo (PL) a nivel P2, tanto desde el punto de vista predictivo como prospectivo.

2.5.3.2.- Crecimiento maternal

El contenido proteico de útero y tejido mamario se estiman, igualmente, en función del tiempo mediante las ecuaciones del NRC (2012) y los trabajos publicados de Knight (1977), Noblet (1985), ; Kensinger *et al.* (1986), y Ji *et al.* (2006), respectivamente.

La ganancia magra o proteína corporal materna dependiente del tiempo, representa la retención de proteína observada en los estudios de balance nitrogenado y que no puede ser atribuida a ninguno de los otros compartimentos de acumulación de proteína. Esta ganancia de proteína sigue la cinética de Michaelis-Menten en base a las publicaciones de Dourmad *et al.* (1998) y Dourmad *et al.* (2008) y, se produce sólo durante la primera parte de la gestación, a partir del día 56 de gestación se hace nula.

La acumulación de magro maternal está relacionada linealmente con la ingesta de EM, cuando se produce una ingesta de EM por encima de las necesidades de mantenimiento a partir del día 1 de gestación, la pendiente de esta relación lineal disminuye con el número de gestación. Dicha pendiente fue ajustada por (Dourmad *et al.*, 2008) a fin de lograr un ajuste razonable entre las ganancias observadas y estimar la composición corporal de la cerda dependiendo del ciclo de gestación.

2.5.3.3.- Crecimiento de “Conceptus”

El peso y contenido energético del *conceptus* o lo que es lo mismo la suma del peso de los fetos, placenta y fluidos se calculan usando las ecuaciones logarítmicas en función del tiempo y del tamaño previsto de la camada al parto (número total de lechones nacidos) de Dourmad *et al.* (1999) y Dourmad *et al.* (2008). El contenido en proteína de los fetos se estima de manera similar a partir de datos de Noblet (1985), Noblet *et al.* (1990), Wu (1999), Mathews (2004), Canario *et al.* (2007), Pastorelli *et al.* (2009), y Charneca *et al.* (2010), mientras que el de la placenta más fluidos se representa en función del tiempo y del tamaño previsto de la camada al parto utilizando la cinética de Michaelis-Menten en base a datos de Noblet (1985) y McPherson *et al.* (2004).

En estos cálculos, se asume que el consumo de energía no afecta al crecimiento de *conceptus* (afectado sólo en casos de restricción grave del consumo energético (Dourmad *et al.*, 1999)) y son corregidos en base al tamaño y peso de la camada observados.

2.5.3.4.- Partición de la Ingesta energética en la gestación

En el modelo NRC (2012), da prioridad a satisfacer las necesidades energéticas para las funciones del mantenimiento de la cerda, ganancia de *conceptus* y maternal (incluyendo útero y tejido mamario).

Las necesidades de energía de mantenimiento estándar se calculan en función del PV corporal de la cerda (peso metabólico) y tomando en consideración el impacto de su actividad física (Dourmad *et al.*, 2008) y la temperatura ambiental (Noblet y Etienne, 1987; Noblet *et al.*, 1990), considerando las temperaturas de confort según el tipo de alojamiento: individual o en grupo (Verstegen y Curtis, 1988) o del tipo de suelo: cemento o paja, por ejemplo (Bruce y Clark, 1979).

Toda aquella ingesta energética sobrante y que no es utilizada para las funciones anteriores, es almacenada en forma de reserva grasa maternal con una eficiencia del 50%. Sin embargo, si esta ingesta de energía es insuficiente para cubrir dichas necesidades (mantenimiento, ganancia maternal y de *conceptus*), la cerda moviliza sus reservas grasas y las utiliza como fuente de EM con una eficiencia energética del 80%.

La evolución de la retención de grasa a lo largo de la gestación en el ciclo 1, 4 y 5 se representa en los siguientes Gráficos 2.5, 2.6 y 2.7 respectivamente, de Francisco Gil Rueda (2019) (datos no publicados, comunicación personal), representando la cantidad de gramos de grasa retenidos a lo largo del tiempo en *conceptus* y maternal en cada momento de la gestación, para una cerda convencional:

2.5.3.5.- Necesidades de aminoácidos en la gestación

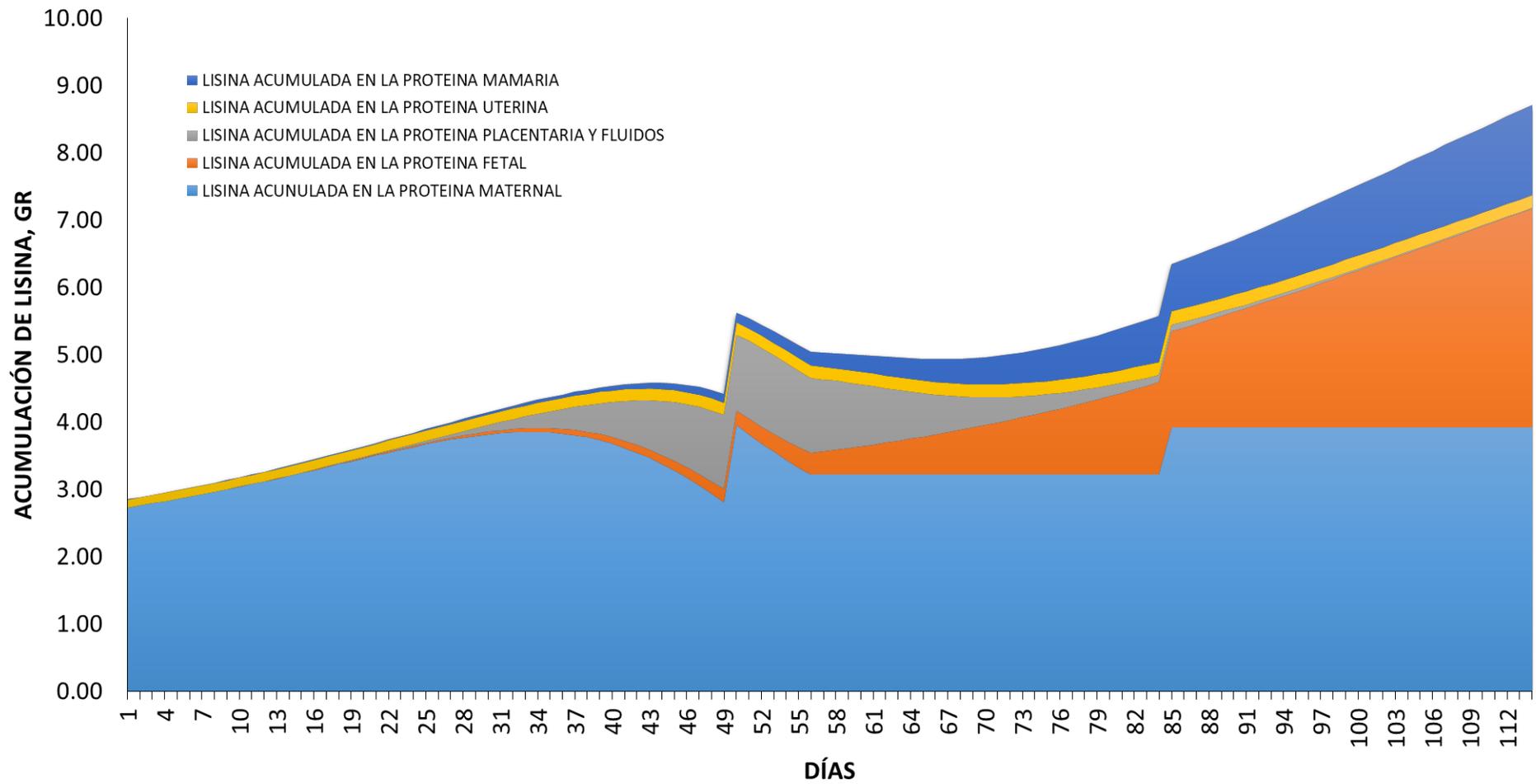
El modelo NRC (2012) (adaptación del trabajo de Moughan (1999)) considera que la dinámica metabólica de la proteína y por lo tanto las necesidades de lisina y del resto de aminoácidos esenciales

a lo largo de la gestación de la cerda, vienen determinados por: (1) las pérdidas basales endógenas del tracto gastrointestinal e íntimamente relacionadas con el consumo de pienso; (2) las pérdidas tegumentarias y que son función del peso metabólico; (3) la ganancia de proteína en los seis apartados anteriormente citados; y (4) la eficiencia en la utilización de los aminoácidos digestibles de la dieta para cada una de ellas. Las necesidades del resto de aminoácidos esenciales se calculan tomando como referencia los de la lisina, de las relaciones óptimas entre ellos para el soporte de las principales funciones corporales y de estimaciones sobre la eficiencia de utilización de cada uno de ellos más una tasa absoluta de catabolismo mínimo inevitable.

Los Gráficos 2.4, 2.5 y 2.6 de Francisco Gil Rueda (2019) (datos no publicados, comunicación personal), representan la dinámica de la ganancia de la proteína a lo largo de la gestación de la cerda, representada como las necesidades de gramos de lisina que se acumulan en cada compartimento anteriormente explicado a lo largo de la gestación, ganancia de proteína maternal, glándula mamaria, útero, fetos, placenta y fluidos de cerdas de un genotipo convencional en los ciclos 1,4 y 5 respectivamente.

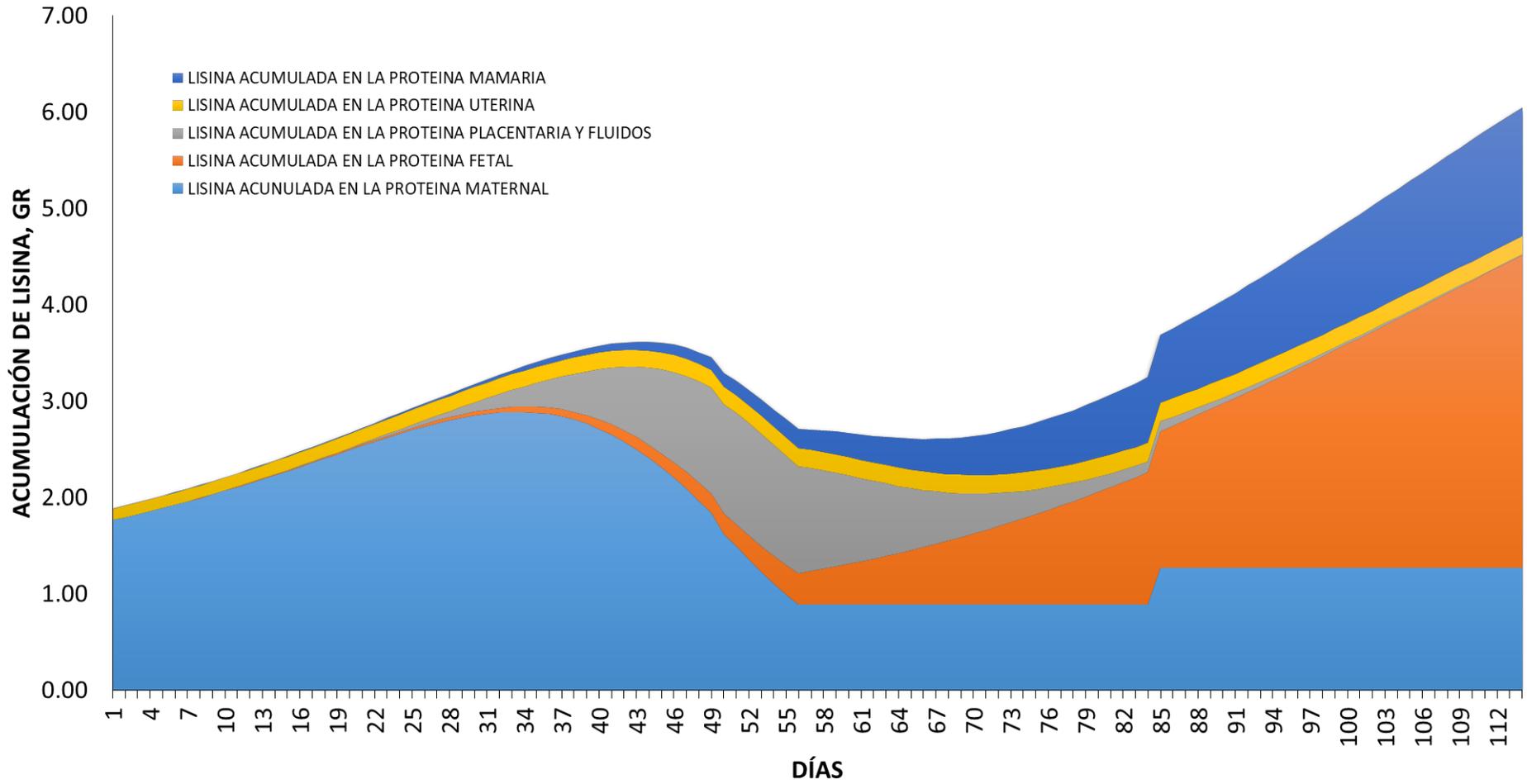
Por otro lado, los Gráficos 2.7, 2.8 y 2.9 representan la dinámica de ganancia de grasa a lo largo de la gestación de la cerda, acumulada en forma de energía retenida para grasa maternal y de *conceptus*, para una cerda convencional de ciclo 1,4 y 5 respectivamente.

Gráfico 2.4. Necesidades de lisina a lo largo de la gestación, ciclo 1*



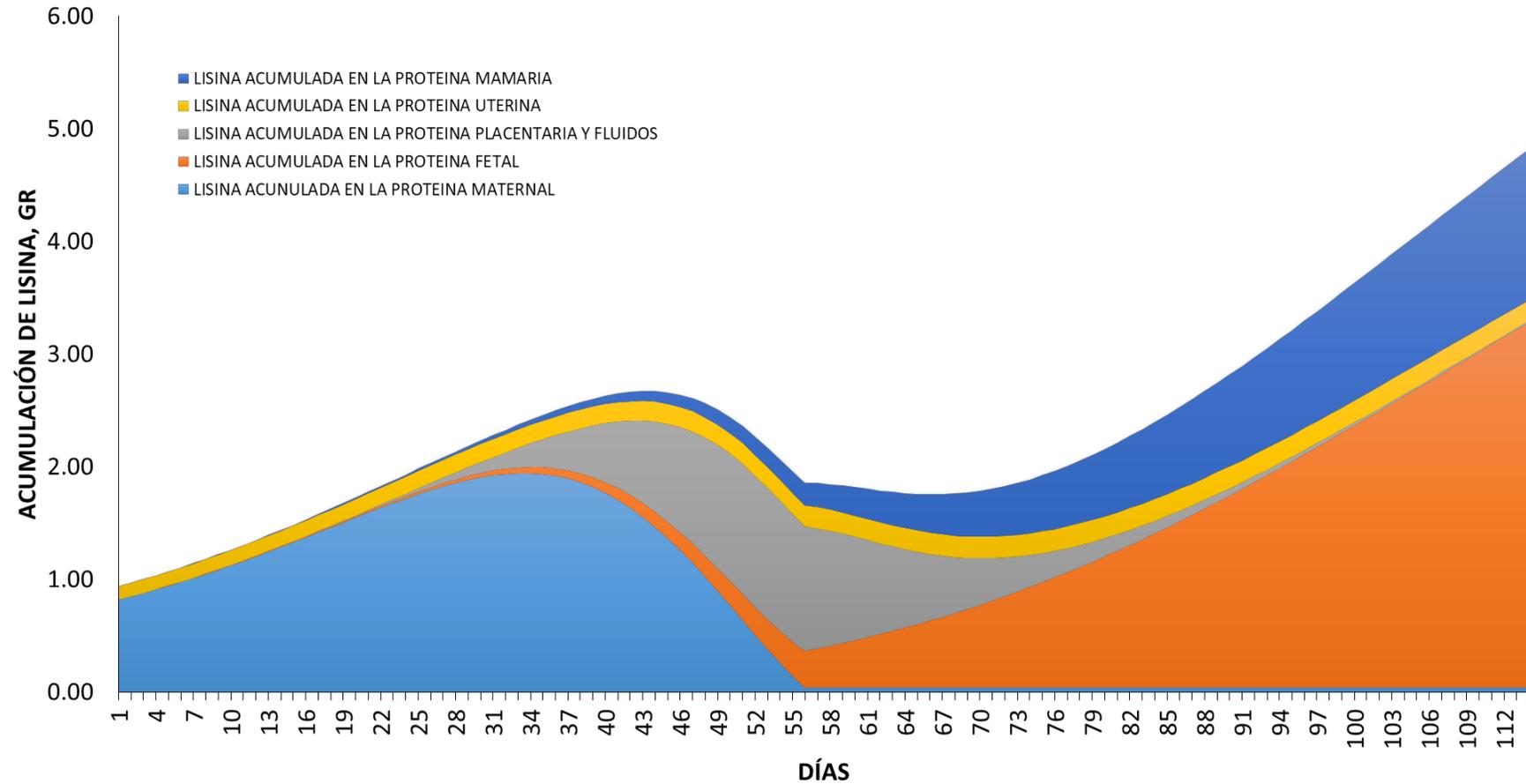
*Cerda 150 kg PV Cubrición; Estado de carnes normal; 27 días de lactación; 14 lechones nacidos vivos; EM Gestación = 2.975 kcal/día.

Gráfico 2.5. Necesidades de lisina a lo largo de la gestación, ciclo 4*



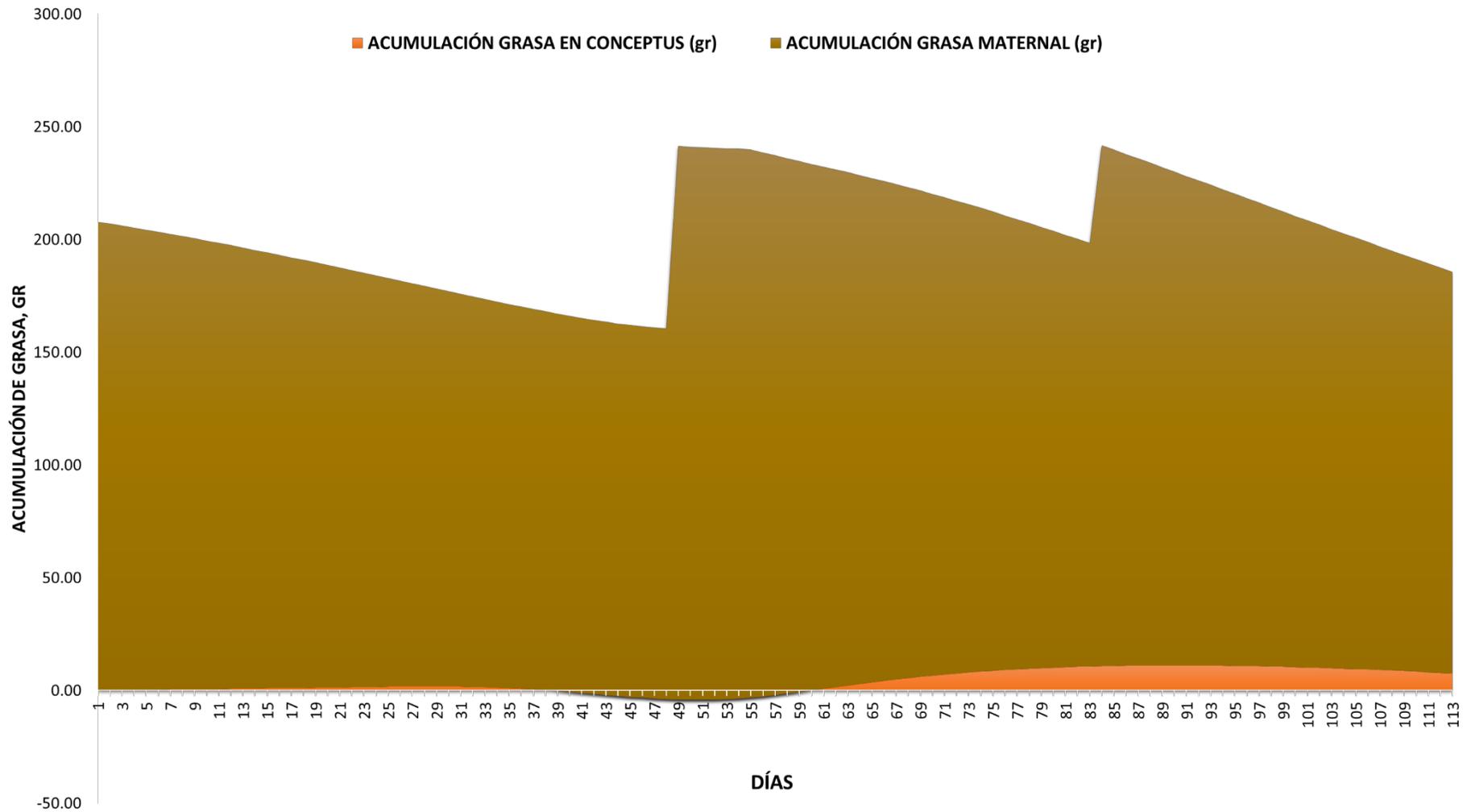
*Cerdea 201,89 kg PV Cubrición; Estado de carnes normal; 27 días de lactación; 14 lechones nacidos vivos; EM Gestación = 2.975 kcal/día.

Gráfico 2.6. Necesidades de lisina a lo largo de la gestación, ciclo 5*



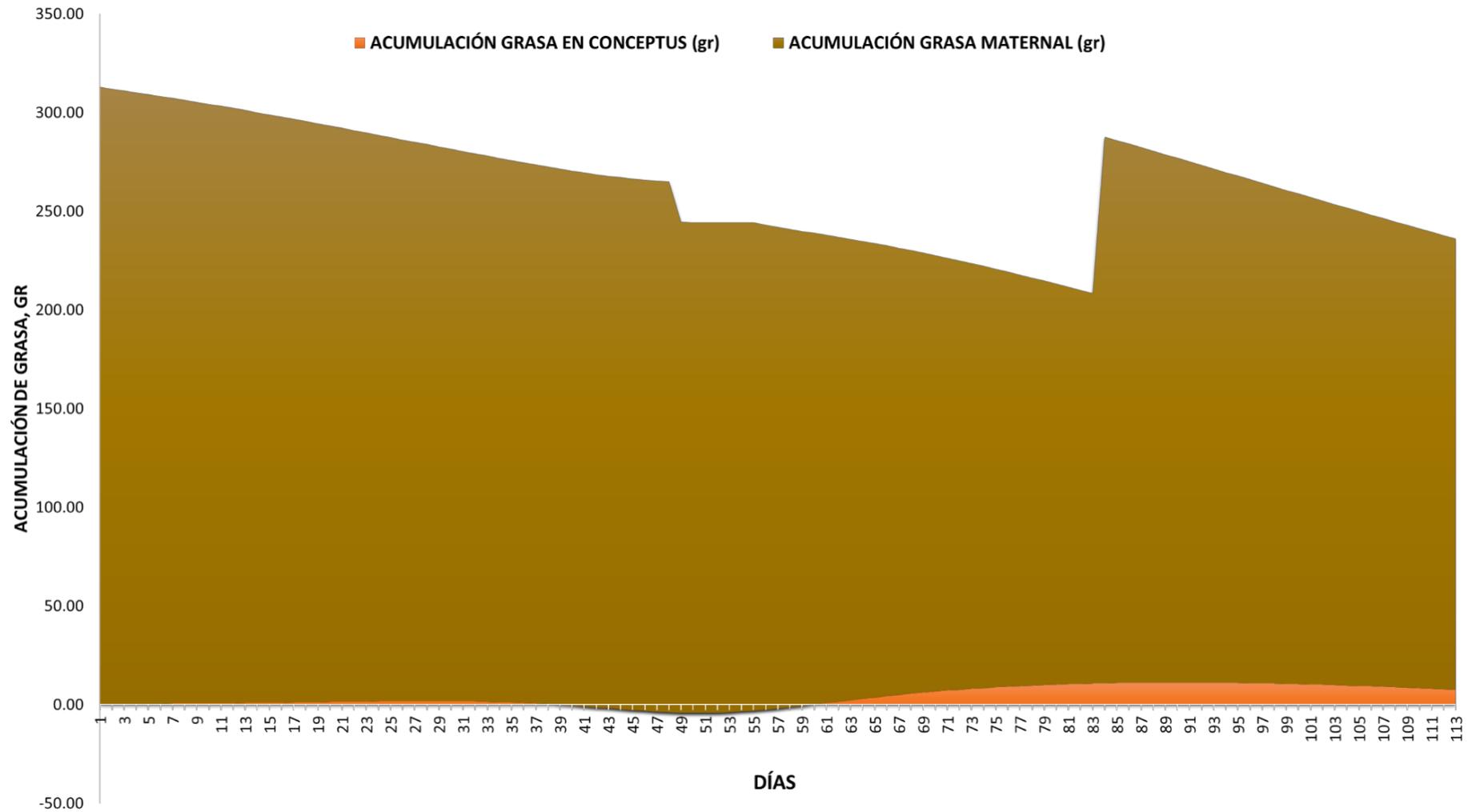
*Cerda 211,58 kg PV Cubrición; Estado de carnes normal; 27 días de lactación; 14 lechones nacidos vivos. EM Gestación = 2.975 kcal/día.

Gráfico 2.7. Acumulación de grasa a lo largo de la gestación, ciclo 1*



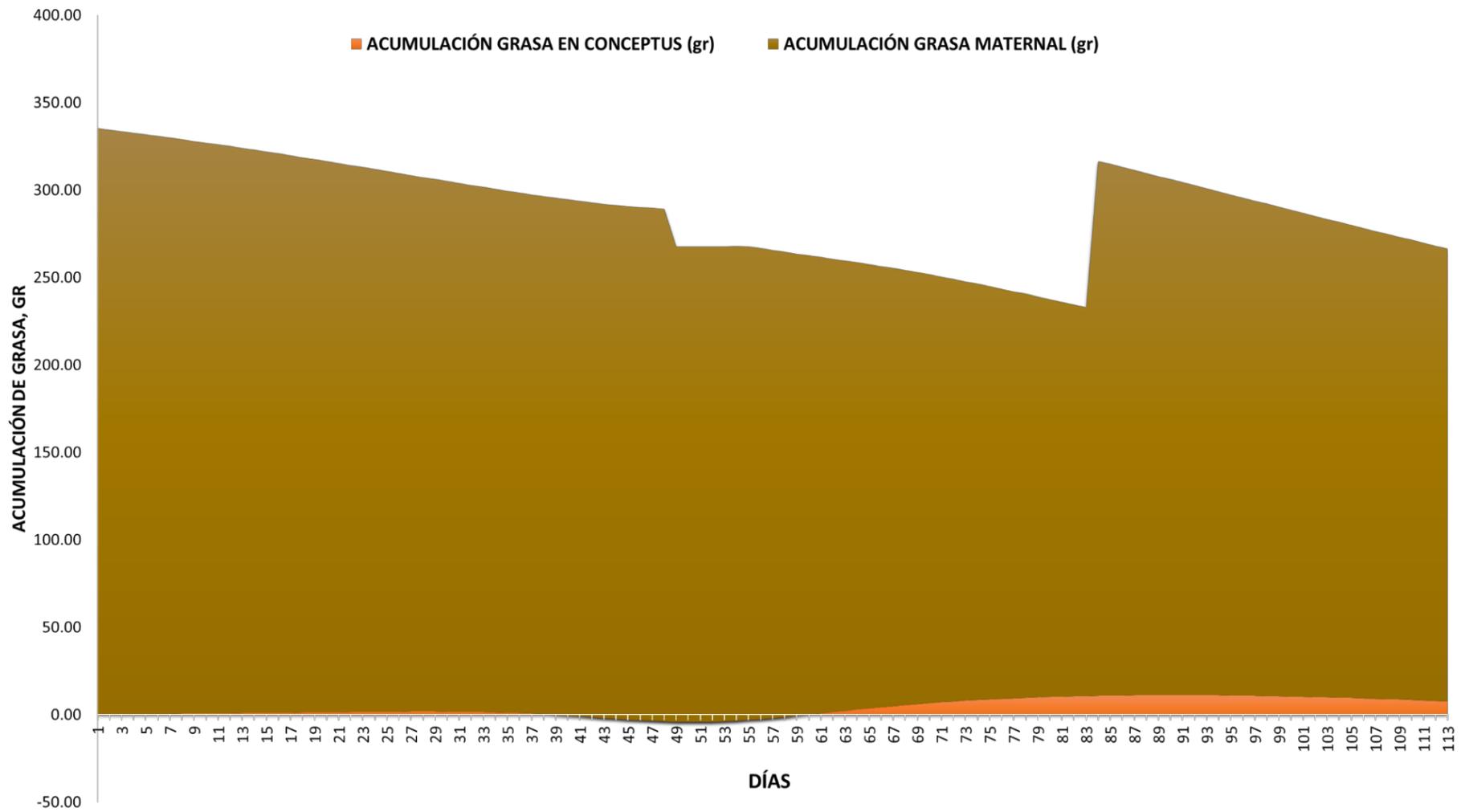
*Cerda 150 kg PV Cubrición; Estado de carnes normal; 27 días de lactación; 14 lechones nacidos vivos; EM Gestación = 2.975 kcal/día.

Gráfico 2.8. Acumulación de grasa a lo largo de la gestación, ciclo 4*



*Cerdas 201,89 kg PV Cubrición; Estado de carnes normal; 27 días de lactación; 14 lechones nacidos vivos; EM Gestación = 2.975 kcal/día.

Gráfico 2.9. Acumulación de grasa a lo largo de la gestación, ciclo 5*



*Cerdas 211,58 kg PV Cubrición; Estado de carnes normal; 27 días de lactación; 14 lechones nacidos vivos. EM Gestación = 2.975kcal/día.

2.5.4.- Modelo de parto

El modelo nutricional de parto se define como modelo específico descrito para el proceso fisiológico de la cerda en la fase de transición de la gestación a la lactación que cuantifica y ajusta el cálculo de las necesidades nutricionales en esta fase. Esta fase es crítica para que el parto y su consecuente lactación se desarrollen con éxito. Este modelo lo describió recientemente Feyera y Theil en su estudio realizado en la Universidad de Aarhus (Dinamarca) en el año 2017 cuyo objetivo fue estimar las necesidades de energía y aminoácidos en este periodo. Lo describió, mediante un enfoque factorial por compartimentos fisiológicos de la cerda no considerados en modelos anteriores como son: la producción de calostro, la actividad física relacionada con la construcción del “nido”, el costo energético del parto durante el parto y el costo de nutrientes por la regresión del útero postparto.

Cuantificando las necesidades diarias de EM (kcal/d) y lisina digestible ileal estandarizada (LYS DIS; g/d) para:

- Desarrollo maternal: Mantenimiento, útero y tejido mamario.
- Desarrollo del “conceptus”: fetos, placenta y fluidos
- Producción de calostro y leche.

Se considera que toda la energía y lisina depositada en esta fase en estos compartimentos y se considera que el PV aumenta en base a ellos, no produciéndose ninguna retención maternal muscular, ni grasa, ya que, en una gestación ideal la cerda recupera condición corporal desde el inicio a mitad de esta.

Para el cálculo de las necesidades energéticas al final de la gestación se tiene en cuenta:

- a) Las necesidades de mantenimiento no cambian (Noblet, 1990) y se establece en $440 \text{ KJ} \times \text{d}^{-1} \times \text{kg}^{-0.75}$ (Noblet *et al.*, 1990; Dourmad *et al.*, 2008).
- b) La preparación del nido antes del parto ocurre durante las últimas 12-36 horas de gestación y provoca un considerable incremento en la producción de calor debida a la actividad física (Damm, 2003; Andersen, 2014) y el coste energético se calculó multiplicando el coste energético por minuto de estar de pie (14,9 KJ/min; (Noblet *et al.*, 1993) con una media de tiempo de preparación del nido (101 minutos; (Andersen, 2014)) y un añadido de pérdidas por calor del día 115 de gestación.
- c) La energía retenida en útero, glándula mamaria, fetos, placenta y fluidos de membrana fueron calculados usando las ecuaciones de Noblet (1985).
- d) La energía utilizada para el calostro se calculó como la suma de energía utilizada para producir la lactosa, proteína y grasa utilizada en la ecuación número 6 de la producción de calostro

publicada por Krogh (2015).

La eficiencia energética para el útero, glándula mamaria, fetos, placenta y calostro al final de la gestación se calculó utilizando la eficiencia del 50 % (Noblet *et al.*, 1990).

Para el cálculo de las necesidades de lisina al final de la gestación se tiene en cuenta:

- a) Las necesidades de LYS DIS para mantenimiento es constante por unidad de PV metabólico y se fijó en 35 mg x d-1 (NRC, 2012).
- b) La lisina retenida en los fetos se calculó multiplicando la ganancia de peso de los fetos (McPherson *et al.*, 2004) con los gr lisina/gr de peso de canal en fresco de los fetos (Wu, 1999) al final de la gestación.
- c) Y hasta dónde llega nuestro conocimiento no existe datos publicados de la composición de lisina del de los componentes del útero a lo largo de la gestación de las cerdas. Por lo tanto, fue estimada asumiendo que la proteína retenida en los componentes del útero durante la gestación contiene una media de 6,7 % de lisina (Everts, 1994).
- d) La lisina retenida en la glándula mamaria se calculó multiplicando gr lisina/glándula de acuerdo con Kim *et al.* (2009) por 14 (el número de glándulas mamarias funcionales que se asume de una cerda moderna de alta prolificidad).
- e) La lisina invertida en el calostro se calculó multiplicando gr lisina / kg calostro (Knabe, 1994) con el rendimiento de calostro publicado por (Krogh, 2015) y producido durante los últimos 6 días preparto y durante el periodo de uso del calostro. La eficiencia de la lisina en gestación se calculó considerando el 65 % de la eficiencia marginal (Dourmad y Etienne, 2002).

Para los últimos los últimos 12 días de gestación el modelo calcula que el total de necesidades de EM (kcal/d) y LYS DIS (g/d) se reparten en la proporción que muestra la Tabla 2.9 (Feyera y Theil, 2017).

Tabla 2.9. Necesidades de energía y lisina diarias de la cerda blanca en periparto

	Necesidades diarias de EM ¹ , %	Necesidades diarias de LYS DIS ² , %
Mantenimiento	66,8	10,4
Pérdidas calor	19,3	
Producción de calostro	7,2	16,1
Fetos	5,0	22,7
Glándula mamaria	1,3	16,8
Útero	0,5	4,5
Oxidación/Transminación		29,5

¹Necesidades diarias de EM, kcal/d.

²Necesidades diarias de LYS DIS, g/d.

Después del parto las necesidades de EM y LYS DIS aumentan diariamente hasta alcanzar su pico máximo el día 17 de lactación, alcanzando el pico productivo de leche. En el pico de lactación, las necesidades de LYS DIS y EM de la cerda para la producción de leche son el 95 % y el 72 % del total de necesidades, respectivamente.

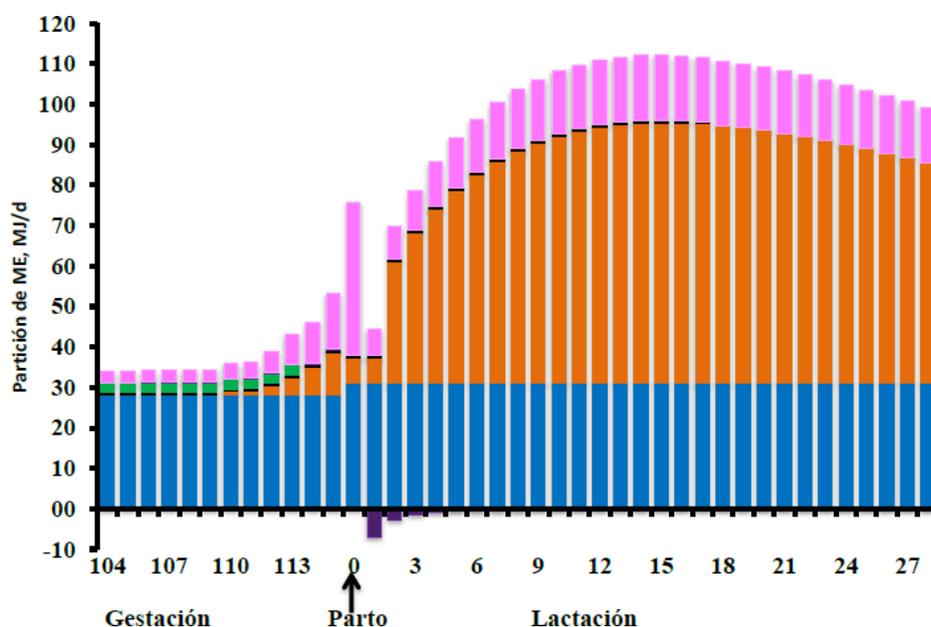
Por otro lado, entre los días 104 y 115 de gestación, las necesidades de EM y LYS DIS se incrementan el 60 % y 149 % y en el pico de lactación un 228 % y 338 % respectivamente. Por lo que una dieta con una relación LYS DIS: EM de 0,55 se estimó como ideal para optimizar el pico de lactación. También hay que tener en cuenta que durante la lactación la regresión uterina se estima que libera sobre 30 gr LYS DIS y 14 MJ de EM en el plasma endógeno (Feyera and Theil, 2017).

Como conclusión, está evolución tan grande de las necesidades del ratio LYS DIS:EM en el periparto hace especial interés de la formulación específica de dietas para esta fase (Feyera y Theil, 2017) que cubran estas necesidades completamente distintas a las del resto de la gestación.

Los Gráficos 2.10 y 2.11, del estudio de Feyera y Theil (2017) representan perfectamente la proporción del reparto de nutrientes necesarios a lo largo del tiempo durante la etapa del periparto: a) EM, en MJ/d y b) LYS DIS, en g/d.

El Gráfico 2.10 representa la proporción de EM destinada a cubrir las necesidades de: a) mantenimiento (barras azules); b) producción de leche y calostro (barras naranjas); c) crecimiento mamario (barras negras); d) crecimiento fetal (barras verdes); e) componentes uterinos (barras moradas); y f) la adicional pérdida de calor (barras rosas) de la cerda durante el periparto.

Gráfico 2.10. Partición de las necesidades de EM de la cerda durante el periparto

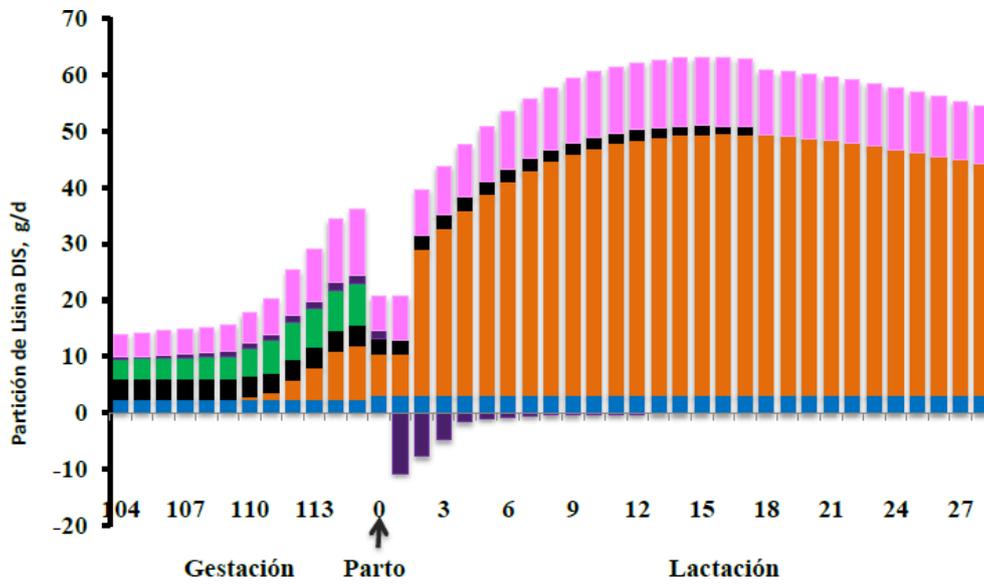


Fuente: Feyera y Theil (2017).

El Gráfico 2.11 se representa la proporción de LYS DIS para cubrir las necesidades de: a) mantenimiento (barras azules); b) producción de leche y calostro (barras naranjas); c) crecimiento mamario (barras negras); d) crecimiento fetal (barras verdes); e) componentes uterinos (barras

moradas) y f) oxidación/transaminación (barras rosas) de la cerda durante el periparto.

Gráfico 2.11. Partición de las necesidades de LYS DIS de la cerda durante el periparto



Fuente: Feyera y Theil (2017).

2.5.5.- Modelo de lactación

Durante la lactación, la cerda necesita los mayores aportes de nutrientes de todo el ciclo productivo, para satisfacer las funciones fisiológicas de los dos compartimentos principales de esta fase, el mantenimiento y la producción de leche. A fin de maximizar la producción de leche y evitar la pérdida excesiva de peso durante este periodo, es importante determinar las necesidades de la cerda en las diferentes etapas de la lactación con la mayor precisión posible, siendo los factores determinantes de dicha producción, el tamaño de la camada y su crecimiento hasta el destete.

De la misma manera que en el modelo de gestación, a partir de la ingesta energética diaria, duración de la lactación, ciclo productivo y el rendimiento observado o esperado de la camada (su tamaño y su tasa media de crecimiento durante todo el período de lactancia), el modelo de lactación del (NRC, 2012), adaptado del de Dourmad *et al.* (2008), estima la cantidad diaria de leche producida y su composición dando lugar a una curva de producción estándar.

Casi simultáneamente, Hansen *et al.* (2012) desarrolló, a partir de un amplio metaanálisis y mediante un enfoque bayesiano, otro modelo de estimación de la producción de leche de la cerda, que incluso permite estimar el contenido en proteína, lactosa y grasa y, por tanto, su concentración en EB o EN de manera más precisa.

A parte de la aproximación al cálculo de necesidades de la fase de lactación de los dos modelos anteriores, el estudio de Feyera y Theil (2017) incorporara, para aumentar la precisión del modelo de lactación, el peso que tienen durante los primeros días de lactación, el desarrollo de la glándula mamaria y la energía y lisina que obtiene la cerda de la regresión uterina.

La energía ingerida y no utilizada para las funciones de mantenimiento corporal y de producción de leche se redirige a la deposición reservas grasa y magra de la cerda. Cuando el consumo de energía es insuficiente para cubrir las necesidades, la cerda moviliza sus depósitos graso y magro para convertirlos en fuente de energía. De la misma manera, las mediciones del EGD y de la PL P2 se usarán como estimación de la grasa y el magro corporal.

2.5.5.1.- Composición corporal de la cerda

Las ecuaciones usadas para la estimación de la composición corporal de cerdas lactantes son idénticas a la descrita para las cerdas gestantes en el modelo del NRC (2012).

2.5.5.2.- Producción de leche

La producción de leche de una cerda blanca actual varía entre 8-12 litros/día o más (Noblet *et al.*, 1998).

El modelo del NRC (2012) predice la riqueza energética y nitrogenada diaria de la leche producida por la cerda a partir del tamaño de la camada y de su GMD en base a las ecuaciones desarrolladas en los trabajos publicados por Dourmad *et al.* (2008) y Dourmad *et al.* (1999) cuyos valores medios se ajustan a una curva de producción diaria estándar a lo largo de la lactación. La producción diaria de leche se calcula a partir de la producción de N en leche, asumiendo que la leche de la cerda contiene 8,0 g N / kg.

En 2012, Hansen *et al.* desarrollan un nuevo modelo de lactación, mediante la predicción de la curva de producción de leche calculada con la ecuación de Wood (Wood, 1967), ecuación paramétrica de la producción de leche en función del tiempo, los parámetros ly_5 , ly_{20} y ly_{30} representan el logaritmo natural de la producción de leche a los 5, 20 y 30 días de la lactación respectivamente y que a su vez son función del Tamaño de Camada (TC), Ganancia en Lactación (GL), y la composición de la leche (% Proteína Bruta (PB), % Grasa Bruta y % Lactosa) para el cálculo de las necesidades nutricionales, mediante análisis bayesiano para analizar los datos de producción de leche y proponen un set de ecuaciones con la finalidad de incorporarlas a futuros modelos de lactación. En este estudio, ensayan varias curvas de producción de leche entre otras: una forma modificada de una función de Gompertz (Hansen *et al.*, 2011) y una versión parametrizada la ecuación clásica de Wood (Wood, 1967), que, aunque más compleja algebraicamente, es la que arroja mejor potencia predictiva, tomando en consideración el tamaño y la ganancia diaria de peso de la camada, composición proteica del pienso consumido por la cerda, etc.

La composición de algunos componentes de la leche cambia a lo largo de la lactación según la publicación de Hurley (2015) aparecen en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10. Composición del calostro y la leche a lo largo de la lactación

	Calostro			Leche		
	0 horas	12 horas	24 horas	2 días	3 días	20-22 días
Agua, %	73,3	79,9	79,9	77,9	77,3	80,5
Proteína, %	16,6	9,6	7,7	7,5	6,5	5,0
Grasa, %	6,4	5,9	8,0	10,1	9,7	7,5
Lactosa, %	2,8	3,6	3,9	4,3	4,6	5,1
Cenizas, %	0,68	0,64	0,67	0,75	0,79	0,86
IgG (mg/ml)	64,4	34,7	10,3	5,7	3,1	1,0
Energía (kJ/g)	6,7	6,0	5,7	6,5	6,0	5,0

2.5.5.3.- Glándula mamaria y regresión uterina

La energía retenida en glándula mamaria se calculará en función de la proteína y grasa depositada en los tejidos mamaros de acuerdo con Kim *et al.* (2000), considerándose una eficiencia del 60 % y del 80 %, de proteína y grasa depositada en la glándula mamaria, respectivamente (Noblet *et al.*, 1990). La energía aportada por la regresión uterina se calculará multiplicando el contenido energético de los gramos de materia seca del útero (Noblet, 1985) con el peso de la regresión uterina a una eficiencia del 88% (Noblet y Etienne, 1987).

La Lisina retenida en la glándula mamaria durante la lactación fue calculada como el producto de gr lisina/glándula (Kim *et al.*, 1999) con el número de glándulas mamaras funcionales asumidas en este estudio. No hay datos publicados de composición de lisina del útero, por lo tanto, la lisina dedicada a la regresión uterina se estimó asumiendo la proteína retenida en el útero contenía 6,7 % de lisina (Everts, 1994). La lisina utilizada de la regresión uterina se calculó con una eficiencia del 88 % (Noblet *et al.*, 1990).

2.5.5.4.- Partición de la ingesta energética en la lactación

En el modelo del NRC (2012), la ingesta diaria de energía puede ser definida de antemano según consumos observados o ser predicho a partir de día de lactancia según las ecuaciones de Schinckel *et al.* (2010a), con determinados ajustes (cerdas primerizas, ambiente térmico, etc.). El modelo da prioridad a satisfacer las necesidades de energía de mantenimiento de la cerda y las necesidades de energía para la producción de leche, asumiendo que la producción de leche no es sensible a la ingesta de energía. Si la ingesta energética excede a las necesidades para el mantenimiento y la producción de leche, se asume que las cerdas acumulan reservas en forma de lípidos y proteína corporal. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la ingesta de energía es insuficiente para satisfacer estas necesidades por lo que la cerda moviliza dichas reservas; la contribución relativa de energía procedente de proteína y de grasa es de 0,12, aunque puede ser ajustada para que coincida con los pesos vivos y con los cambios de espesor de grasa dorsal observados durante la lactación.

2.5.5.5.- Necesidades de aminoácidos en la lactación

El enfoque del cálculo de las necesidades de aminoácidos esenciales es idéntico al descrito para cerdas gestantes, (pérdidas endógenas de aminoácidos a lo largo del tracto gastro intestinal (ligeramente mayores al modelo de gestación) y pérdidas tegumentarias. Además, en caso de existir balance energético corporal negativo de la cerda, la movilización proteica corporal maternal se asume que contribuye con aminoácidos esenciales y N para la producción de leche.

En el modelo de lactación, las necesidades de lisina y del resto de aminoácidos esenciales se derivan, igualmente, de las relaciones óptimas entre ellos para el soporte de las funciones corporales y la producción láctea y de sus respectivas eficiencias de utilización; en este caso: la derivada del consumo nitrogenado procedente de la dieta o la derivada de la movilización de la proteína corporal, en caso de balance energético negativo) para dar lugar a la producción de aminoácidos de la leche. La lisina secretada en la leche se calcula a partir de la composición proteica de la producción de leche estimada usando el conjunto de ecuaciones descritas por (Hansen *et al.*, 2012); las necesidades totales van a depender de las respectivas eficiencias de utilización, como se ha comentado (origen dietético o endógeno a partir de las reservas movilizadas). El resto de los aminoácidos esenciales y el N total se calculan de forma parecida al del modelo de gestación en base a su relación óptima respecto de la lisina, sus eficiencias de utilización (digestibilidad) y la tasa de catabolismo mínimo inevitable.

Usando los modelos publicados por NRC (2012), de Hansen *et al.* (2012), Feyera y Theil (2017) y otras estimaciones, concluyen que las cerdas con alto rendimiento lechero requieren una alimentación con una ratio LYS DIS: EM alto, mientras que las cerdas con alto PV requieren una estrategia con dicha ratio más bajo.

2.5.6.- ANEXO

Tablas de recomendaciones en alimentación en Ibérico

Tabla 2.11. Recomendación para cerdas ibéricas en intensivo (FEDNA, 2013)

	Gestación		Lactación		CERDAS ÚNICO
	Liberal ¹	Restr. ²	Liberal ³	Restr. ⁴	
EM Porcino, kcal/kg	2890	2950	3050	3150	3000
EN Porcino, kcal/kg	2155	2170	2275	2360	2235
Extracto Etéreo, %	2-3	2-3	3-6	3-5	3-5
FB ⁵ , Mín-Máx., %	6,3-10	6,5-11	4,9-6	5,1-7	5,5-10
FND, Min., %	18	18,5	15	16	18
PB, Mín-Máx., %	13,8-15	16,3-16,8	16,0-17,2	16-17,5	15,0-16,6
Lis Total, %	0,60	0,65	0,75	0,80	0,68
Met Total, %	0,20	0,22	0,22	0,24	0,20
Met + Cys Total, %	0,36	0,39	0,42	0,45	0,39
Thr Total, %	0,39	0,42	0,49	0,52	0,45
Trp Total, %	0,11	0,12	0,12	0,14	0,12
Ile Total, %	0,42	0,43	0,46	0,5	0,45
Val Total, %	0,42	0,45	0,52	0,56	0,48
LYS DIS, %	0,46	0,48	0,63	0,66	0,55
Met digest. std., %	0,15	0,16	0,19	0,20	0,18
Met+Cys Digst. Std., %	0,28	0,29	0,35	0,37	0,32
Thr Digest. Std., %	0,3	0,31	0,41	0,43	0,36
Trp Digest. Std., %	0,09	0,09	0,10	0,12	0,10
Val Digest. Std., %	0,32	0,34	0,44	0,46	0,39
Ca, %	0,85	1,00	0,92	1,00	0,90
P Total ⁶ , %	0,57	0,60	0,62	0,65	0,62
P Dig. Mín. ⁶ , %	0,28	0,30	0,33	0,35	0,33
Mg, mg/kg	380	390	360	370	380
Na, Mín., %	0,17	0,19	0,18	0,20	0,20
Cl, Mín., %	0,16	0,16	0,18	0,18	0,17
K, Mín-Máx., %	0,26-1,1	0,27-1,16	0,26-1,05	0,28-1,10	0,28-1,05
Ác. Linoleico ⁷ , %	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

¹Valores recomendados. Se considera un consumo mínimo de 2 kg/cerda/d. Puede elevarse la energía en cerdas en extensivo. Es recomendable restringir. ²Consumo de pienso restringido entre 1 y 1.5 kg/cerda y d (resto a campo). ³Valores recomendados. Se considera un consumo en función de las necesidades de la cerda (>4.5 kg y d en lactación). Es recomendable restringir. ⁴Consumo restringido a menos de 3 kg/cerda y d. ⁵El nivel de fibra puede reducirse en caso de que la cerda tenga acceso a campo. ⁶Reducir en caso de utilizar fitasas en 0.10 % el P total, 0.07 a 0.08 el fósforo digestible y 0.07% el Ca. ⁷Elevar a 0.80% en caso de aparición de problemas relacionados con la piel. Ca, calcio. Cl, cloro. Mg, magnesio. Na, sodio. P, fósforo. K, potasio.

Tabla 2.12. Recomendaciones nutricionales para cerdos ibéricos cruzados en crecimiento - cebo en intensivo¹ (FEDNA, 2013)

	Estárter	Transición	Crecimiento	Cebo
Periodo, kg	<25	20-40	27-100 ²	>100
EM Porcino, kcal/kg	3170	3060	2985	3110
EN Porcino, kcal/kg	2400	2325	2270	2400
Grasa añadida, %	1-4	2-4	2-5	>5 ^{4,5}
FB, Mín-Máx, %	2,8-3,8	3,4-4,5	3,5-5,5	3,5-5,5
FND, Min, %	11	13,5	13,5	14
Almidón, %	35	35	35	35
PB, Mín-máx, %	16,5-17,5	15,0-16,3	15,6-16,5	12,0-14,5
Lis Total, Mín., %	1,15	0,93	0,86	0,60
Met Total, %	0,35	0,28	0,25	0,17
Met + Cys Total, %	0,71	0,58	0,53	0,37
Thr Total, %	0,79	0,64	0,53	0,37
Trp Total, %	0,23	0,19	0,17	0,11
Val total, %	0,81	0,65	0,60	0,42
Ile total, %	0,64	0,52	0,48	0,35
LIS DIS, %	0,98	0,79	0,73	0,51
Met digest. Std., %	0,29	0,24	0,22	0,15
Met+Cys digest. std., %	0,61	0,49	0,45	0,32
Thr Digest. std., %	0,67	0,55	0,50	0,35
Trp Digest. std., %	0,20	0,16	0,15	0,10
Val Digest. std., %	0,68	0,55	0,51	0,36
Ca, %	0,65	0,70	0,70	0,60
P Total ³ , %	0,60	0,56	0,55	0,48
P Dig. ³ , %	0,33	0,31	0,30	0,24
Mg, %	200	200	380	370
Na Mín, %	0,22	0,19	0,18	0,17
Cl, Mín, %	0,20	0,16	0,14	0,12
K, Mín-Máx, %	0,25-1,10	0,26-1,05	0,26-1,06	0,24-1,11
Ác. Linoleico ⁷ , %	0,70-1,85	0,65-1,70	0,10-1,35 ⁴	0,10-1,25 ⁵

¹Consumo de tronco ibérico criados en intensivo con el objetivo de maximizar los crecimientos. Restringir en todos los animales si se precisa cumplir la normativa actual. ²Nivel energético en función del objetivo. Puede reducirse en 100-130 kcal si se busca marca y calidad con sacrificios tardíos. ³Reducir en caso de utilizar fitasas 0.10% el P total, 0.07 a 0.08% el fósforo digestible y 0.04% el Ca. ⁴Si no se busca perfil pueden superarse estos máximos (≈ 10-15%). ⁵Mínimo del 3.5% de ácido oleico (50% de grasa añadida). Ca, calcio. Cl, cloro. Mg, magnesio. Na, sodio. P, fósforo. K, potasio.

Tabla 2.13. Recomendaciones nutricionales para cerdos ibéricos cruzados en crecimiento - cebo en extensivo (FEDNA, 2013)

	Estárter	Crecimiento.	Cebo de Campo	Montanera
Periodo, kg	<27	27-100 ²	100-160	
EM Porcino, kcal/kg	3060	3030	3070	3075
EN Porcino, kcal/kg	2325	2280	2350	2370
Grasa añadida, %	1-4	2-4	2-5	>6
FB, Mín-Máx, %	3,1-5,0	4,5-6,5	4,0-6,0	4,0-5,6
FND, Min, %	12,5	15	13,5	13,5
Almidón, %	35	32	33	30
PB, Mín-Máx. %	15,0-16,0	15,0-16,8	12,5-14,5	13,0-16,0
Lis Total, Mín. %	1,08	0,85	0,5	0,6
Met Total, %	0,33	0,26	0,15	0,19
Met + Cys Total, %	0,65	0,51	0,31	0,36
Thr Total, %	0,68	0,54	0,35	0,38
Trp Total, %	0,19	0,15	0,1	0,11
Val Total, %	0,76	0,6	0,35	0,42
Ile Total, %	0,64	0,5	0,51	0,39
LYS DIS, %	0,93	0,71	0,43	0,53
Met Digest. Std., %	0,29	0,22	0,13	0,16
Met+Cys Digest. Std. %	0,56	0,43	0,26	0,32
Thr Digest. Std. %	0,59	0,46	0,29	0,34
Trp Digest. Std. %	0,17	0,13	0,09	0,1
Val Digest. Std. %	0,65	0,5	0,3	0,37
Ca, %	0,75	0,74	0,8	0,6
P Total ³ , %	0,6	0,54	0,54	0,5
P Dig. ³ , %	0,33	0,3	0,32	0,26
Mg, %	200	365	366	380
Na, Min. %	0,22	0,18	0,2	0,2
Cl, Min. %	0,18	0,16	0,26-1,08	0,25-1,10
K, Mín-Máx.%	0,27-1,05	0,25-1,05	0,25-1,08	0,25-1,10
Ác. Linoléico ⁴ Mín-Máx. %	0,70-1,85	0,10-1,30	0,10-1,31	0,10-1,30 ⁵

¹Ibéricos en extensivo para cumplir la normativa (BOE, 2007). Restringir a todos los animales para cumplir la normativa actual. ²Nivel proteico en función de la restricción aplicada. Puede subsidiarse si se buscan crecimientos rápidos. ³Reducir en caso de utilizar fitasas 0.10% el P total, 0.07-0.08 % el fósforo digestible y 0.04% el Ca. ⁴Máximos recomendables si se busca perfil de AG. ⁵Mínimo del 3.5% de ácido oleico (50% de la grasa añadida). Ca, calcio. Cl, cloro. Mg, magnesio. Na, sodio. P, fósforo. K, potasio.

Tabla 2.14. Recomendaciones de composición del corrector vitamínico mineral en cerdas del tronco ibérico (FEDNA, 2013)

	Lechones 10-25 kg	Cerdos		Cerdos reproductores
		20-100 kg	>100 kg	
Vitamina A, M UI	8,5	6	4,5	9,5
Vitamina D3, M UI	1,5	1	0,8	1,4
Vitamina E, UI	35	20	30 ²	40
Vitamina K3, ppm	1,1	0,4	0,2	1,1
Tiamina (B1), ppm	0,8	0,4	0,15	1,1
Riboflavina (B2), ppm	4	3,5	2,5	4
Piridoxina (B6), ppm	1,7	0,7	0,15	2
Cobalamina (B12), ppb	21	16	14	22
Ácido Fólico, ppm	0,1	–	–	1,5
Niacina, ppm	22	16	11	20
Ac. Pantoteico, ppm	10	8	5	12
Biotina (H), ppb	120	10	2	120
Colina, ppm	200	70	40	220
Fe, ppm	60	50	30	60
Cu ³ , ppm	10	8	7	10
Zn, ppm	100	95	70	100
Mn, ppm	25	20	15	30
Se, ppm	0,3	0,3	0,3	0,3
I, ppm	0,4	0,3	0,2	0,8

¹Para lechones de menos de 12 kg cruzados con Duroc, utilizar el mismo corrector que en prestarter para cerdo blanco.

²Valores recomendados para animales con acceso al consumo de hierba. Si se busca buena calidad y estabilidad de la GIM se recomienda añadir 100-150 ppm durante al menos 28 d previos al sacrificio.

³Valores recomendados sin tener en cuenta los efectos del SO₄Cu y el ZnO para control de procesos digestivos y promotores de crecimiento.

3.- JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

España es el cuarto país productor de carne de cerdo a nivel mundial, destacando la producción de productos cárnicos curados por su alto valor añadido y principalmente aquellos procedentes del cerdo ibérico, por sus características organolépticas de calidad valoradas a nivel nacional e internacional. El impacto económico de los costes de producción es cada vez mayor, así como su repercusión sobre el medio ambiente y la salud humana. Los animales cada vez son más productivos y las reglas para producir carne de cerdo van cambiando, se tiene que producir con menor coste, menor grado de confinamiento y sin utilizar medicamentos en el pienso. Además, el consumidor está cada vez más informado y es más exigente sobre la calidad de los productos.

Teniendo en cuenta de la existencia de la gran variabilidad de estirpes de raza ibérica que a pesar de su importancia en de nuestro sector porcino, han llegado hasta nuestros días sin haber sufrido apenas un proceso de selección, que los costes en alimentación son superiores al 70 % y las recomendaciones nutricionales para programar la alimentación del cerdo ibérico se basan únicamente en los estudios realizados para la estimación de las necesidades de cerdos ibéricos puros (Nieto *et al.*, 2002; Barea *et al.*, 2007; García Valverde *et al.*, 2008; Conde-Aguilera *et al.*, 2010), y en las directrices establecidas por FEDNA (2013), se hace necesario desarrollar un programa de caracterización y selección genética de la población en estudio para dirigir el patrimonio hereditario existente y adaptarlo de manera óptima a los objetivos de producción de primales para la montanera y animales para la producción de cerdo ibérico de “Cebo de Campo” de máxima calidad. De esta manera, para poder alcanzar esta meta es necesario conocer los parámetros genéticos, en los que se apoya un programa de mejora genética porcina clásico, cuyas acciones más importantes son de cuatro tipos:

- Selección de reproductores para explotar los efectos genéticos-aditivos.
- Reproducción moderada en consanguinidad, para constituir líneas o estirpes.
- Cruzamiento de las líneas, estirpes o razas para explotar efectos de heterosis y complementariedad.
- La difusión del patrimonio genético logrado en el programa de mejora.

Además, el desarrollo de innovadores programas de alimentación, mediante la modelización nutricional, que se realizan ya con éxito en razas mejoradas desde el año 2000 (Van Milgen *et al.*, 2000) y que es decisivo implantarla con éxito en cerdo ibérico. Para ello, debemos medir, cuantificar y desarrollar modelos matemáticos que interpreten la dinámica metabólica, deposición de grasa y

músculo a lo largo de la vida del animal y sus cambios en periodos especiales, como es el caso de las reproductoras en gestación y lactación para ajustar la alimentación de los animales respecto a sus necesidades reales. (Muñoz *et al.*, 2016).

La evolución de los sistemas de producción porcina moderna exige un conocimiento genético-metabólico profundo de la conexión estrecha entre las distintas fases productivas “cerda-lechón-cebo”, para optimizar las exigentes condiciones de la producción porcina moderna; empezando por la selección de la cerda más adecuada para la producción, proporcionándole las mejores condiciones de manejo y alimentación para que pueda expresar su máximo potencial genético, y así obtener la mejor calidad de lechón al nacimiento, que haga óptimo el desarrollo de las siguientes fases de crecimiento y acabado.

El desarrollo de estas innovadoras estrategias de mejora genética y nutrición de este trabajo se llevó a cabo en el contexto de una producción agropecuaria sostenible, sometida a las máximas exigencias de ecoeficiencia, bienestar de los animales y seguridad alimentaria.

Este trabajo se desarrolló en el escenario de un modelo agropecuario de carácter «familiar y multifuncional» y que, en teoría, permitiría mantener la población rural y un sector agropecuario basado en sistemas productivos sostenibles. En definitiva, se trataría de alcanzar un equilibrio entre la utilización de sistemas productivos que aprovechen plenamente las tecnologías más avanzadas, garantizando la sostenibilidad de los recursos y del medio natural.

3.1.- Objetivo general

Este trabajo tiene como objetivo general describir las características genéticas y nutricionales de las poblaciones objeto de estudio (ibérico, duroc y su cruce) para proponer soluciones de mejora genética y nutrición. De un modelo productivo para optimizar la producción de cerdo ibérico (50 % duroc) de “Cebo de Campo”. En el programa genético desarrollado en este trabajo, se aportan herramientas específicas de selección genéticas para optimizar y armonizar la productividad, eficiencia alimentaria y calidad de la carne de animales procedentes del cruce macho duroc por hembra ibérica, producidos bajo el régimen de “Cebo de Campo”.

3.2.- Objetivos específicos

3.2.1.- Desarrollo de un programa de mejora genética

- Definir los objetivos de selección para esta producción particular de cerdo ibérico.
- Estudiar la expresión de caracteres genéticos de interés productivo-económico propios de la población de cerdo ibérico estudiada.
- Estudiar la expresión de caracteres genéticos de interés productivo-económico propios de la de la población de cerdo duroc estudiada.
- Estudiar la expresión de caracteres genéticos de interés productivo-económico propios de la población de cerdo cruzado duroc por ibérico estudiada.

3.2.2.- Desarrollo de modelización nutricional de cerdas ibéricas

- Modelización de crecimiento de cerdas ibéricas en recría:
 - Caracterizar los cambios de PV y composición de canal de la cerda durante la etapa de recría.
 - Determinar las curvas de crecimiento, determinante como eje central para el ajuste y cálculo de necesidades nutricionales del modelo de cerdas de gestación y lactación.
- Modelización nutricional de cerdas ibéricas en gestación y lactación de la población en estudio:
 - Caracterizar los cambios fisiológicos de la cerda durante la gestación y la lactación.
 - Calcular las necesidades energéticas y proteicas durante la gestación y la lactación.
 - Determinar las curvas de alimentación y optimización económica de los recursos nutricionales.
 - Determinar el peso y edad óptimo para la primera cubrición.

3.2.3.- Desarrollo de modelización nutricional de crecimiento de cerdos ibéricos en sistema “Cebo de Campo”

- Caracterizar los cambios fisiológicos de los cerdos durante la etapa de crecimiento-acabado.
- Calcular las necesidades nutricionales y alimentarias durante la etapa de crecimiento-acabado.

4.- MATERIAL Y MÉTODOS

4.1.- Diseño del experimento 1: Desarrollo del programa genético de la población de cerdo ibérico y duroc Templario™

4.1.1.- Animales

El desarrollo del programa genético ibérico y duroc Templario™ se llevó a cabo en la granja núcleo La Jineta, Figura 4.1, con un censo de 420 cerdas, situada en el término municipal de Fregenal de la Sierra, perteneciente a la empresa POLICHI. La granja estaba organizada con un manejo en bandas semanales y se monitorizaron 21 lotes de 20 cerdas cada uno. Tras la inseminación, en monospermia, los animales permanecen en la nave de gestación hasta los 28-32 días, una vez confirmada la gestación las cerdas se trasladan a otro emplazamiento, donde se alojan por separado cada lote en una nave cubierta y con acceso al aire libre con suelo de tierra y zona de alimentación independientes, en esta fase la alimentación es ajustada a cada lote en función de su estado de carnes. Una semana antes del parto las cerdas se trasladan nuevamente a la nave de partos, donde antes de entrar se lavan y desinfectan, esta nave está completamente cubierta y cuenta con ventilación natural para el control ambiental (T^a y Humedad), además cuenta con comederos de dosificación individual para cada cerda y nidos calefactados para los lechones. La reposición se realizó con animales nacidos en la granja. Los lechones al destete pasaron a la fase de transición y posteriormente a la fase de recría, esta fase se describirá en detalle en el apartado de protocolo de testaje.

Figura 4.1. Finca La Jineta



Fuente: Google maps.

Los resultados reproductivos de esta granja fueron: 2,35 partos por cerda y año, 89 % de fertilidad a ecógrafo, 7,5 días de intervalo destete-cubrición fértil y una media de reposición anual del 35 %.

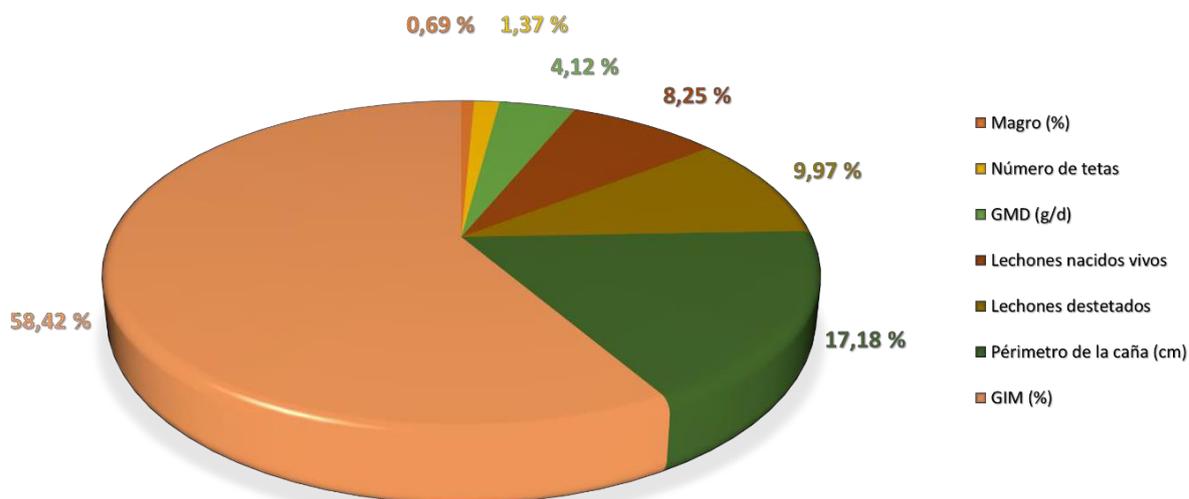
Se seleccionaron las líneas fundacionales, 189 cerdas ibéricas, 25 bisabuelas de 25 líneas parentales diferentes, y 81 cerdas duroc, 60 bisabuelas de 25 líneas parentales diferentes, y se diseñó un programa de primeras cubriciones en pureza, con 20 machos ibéricos y 20 verracos duroc, detectando que machos eran incompatibles con las cerdas por parentesco, y así evitar la consanguinidad entre las líneas fundacionales.

4.1.2.- Programa genético

Una vez se tuvieron bien definidos y consolidados los dos primeros pasos del esquema del programa:

1. Definición del sistema de producción: este lo establecimos como un sistema de producción de cerdo ibérico cruzado tradicional.
2. Objetivos de selección para construir un índice de selección multicarácter, Figura 4.2:
 - a. Caracteres relacionados con parámetros productivos del crecimiento, velocidad de crecimiento y eficiencia alimentaria acordes con el modelo de crecimiento tradicional.
 - b. Calidad canal y carne, % GIM y % magro.
 - c. Prototipo racial y perímetro de la caña del jamón.
 - d. Prolificidad y la vitalidad de los lechones al nacimiento.

Figura 4.2. Gráfico de los Objetivos de Selección, cerdo ibérico Templario™



*Fuente: Elaboración propia.

*El porcentaje de importancia relativa de cada carácter en el objetivo de selección viene determinado por peso económico correspondiente, calculado mediante una primera función de beneficios del proceso productivo.

Se diseñó el protocolo de colección de datos para la monitorización de su recogida, evaluación y control del rendimiento fenotípico individual en granja de los caracteres de interés; con los que se calcularon el valor genético de cada individuo. La primera fase de recogida de datos sirvió para caracterizar la población fundacional y la segunda para establecer el esquema de selección definitivo, en base a la construcción de un índice de selección multicarácter para seleccionar los futuros reproductores mejorantes de esta población. En el caso de las hembras se utilizaron como tales sólo durante el primer ciclo, al objeto de reducir al máximo el intervalo de generación vía madre. Igualmente, los machos hicieron un número limitado de cubriciones con el mismo objetivo, de manera que esta estrategia nos permitió maximizar el progreso genético.

4.1.2.1.- Recogida de información, manejo reproductivo y de testaje

Los protocolos genéticos se dividieron en tres paquetes de trabajo: a) Protocolo de cubriciones y control de consanguinidad; b) protocolo de partos y vitalidad de lechón; c) protocolo de testaje del crecimiento y de calidad de canal y carne.

a).- Protocolo de cubriciones y control de consanguinidad

En el protocolo de cubriciones se monitorizó mediante un programa de acoplamientos de reproductores, a través programación en Excel (Microsoft, Estados Unidos), Donde se identifica la compatibilidad genética y de parentesco de los apareamientos en pureza. Las inseminaciones se registraron en el libro de cubriciones, que documenta la fecha de cubrición, número de inseminaciones, número de cerda, número de verraco y número de ciclo de la cerda; está información se manejó en el módulo de cubriciones de la base de datos en Excel (Microsoft, Estados Unidos).

b).- Protocolo de partos y vitalidad de lechón

El protocolo de partos y vitalidad se puso en marcha estableciendo un programa de procedimientos estandarizados de recogida de datos de cada camada durante el parto y la lactación. Para ello se utilizó un libro de registro de partos que documentó por un lado, datos productivos de cada cerda y su camada: fecha de parto, número de lechones nacidos vivos (NV), número de lechones nacidos muertos (NM), número de lechones nacidos momificados (MM), número de lechones trasladados o adoptados, identificación y fecha de baja de lechón durante la lactación, fecha y número de lechones destetados (ND); y por otro, datos productivos individuales de los lechones al nacimiento y durante la lactación: identificación individual (Nº crotal), sexo, peso al nacimiento, número de tetas, defectos congénitos, fecha de baja, causa de baja de los nacidos vivos y nacidos muertos, y el peso de destete. Por último, para cada camada, se calculó, la ganancia de peso media diaria durante la lactación y el coeficiente de

variación del peso al nacimiento y al destete. Los datos productivos individuales del lechón al nacimiento se midieron a las 12 horas de este: el pesaje de los lechones se realizó mediante una báscula gravimétrica digital con una precisión de 50 gramos al nacimiento y de 100 gramos al destete, el conteo de tetas y el registro de posibles defectos congénitos se llevó a cabo por inspección visual, Figura 4.3.

Figura 4.3. Protocolo de partos y vitalidad



Fuente: Elaboración propia.

c).- Protocolo de testaje del crecimiento y de calidad de canal y carne

El protocolo de testaje consistió en la realización de una serie de procedimientos estandarizados de recogida de información de datos zootécnicos de interés para el estudio del rendimiento de crecimiento, calidad de canal y carne.

Este protocolo se llevó a cabo en todos los animales nacidos y documentados por los dos protocolos anteriores. Los animales que pasan a testaje proceden de una preselección por su valoración fenotípica y morfológica al destete y a la salida de la fase de transición.

El testaje propiamente dicho se llevó a cabo en corrales de crecimiento o aprialamiento, con acceso al aire libre y suelo de tierra. Al final de este periodo se realizaron los últimos controles zootécnicos y la última selección morfológica, para determinar los que serán futuros reproductores definitivos de la población.

En este proceso de testaje, se diferenciaron una primera fase donde los animales se alimentaron *ad libitum* hasta los 50-60 kg de PV, y una edad entre 5-5,5 meses de vida, y en una segunda alimentándose de forma racionada, utilizándose una dieta ajustada nutricionalmente para cubrir las necesidades de mantenimiento y crecimiento, evitando la acumulación grasa excesiva. La curva de racionamiento de esta dieta se estableció según el rango de PV, Tabla 4.1:

Tabla 4.1. Curva de racionamiento de pienso en testaje

PV, kg	Cantidad de pienso diaria, kg/d
50-60	1,8
60-70	2,1
70-80	2,4
80-90	2,7
90-100	3,0

El momento del último control de testaje se programó cuando el animal alcanza el rango de PV entre los 90-100 kilos, a una edad de 270-300 días, en este momento se midieron:

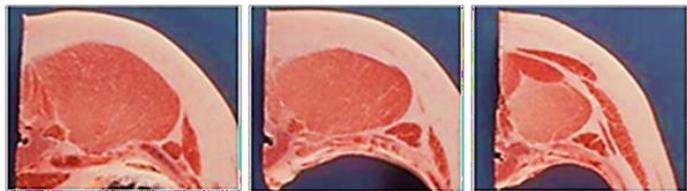
- PV, en kg, mediante báscula gravimétrica.
- Perímetro de la caña de la pata, en cm, mediante cinta métrica.
- Porcentaje de GIM, los milímetros de EGD y PL mediante ecografía por ultrasonidos con sonda abdominal, EXAGO (IMV Imaging, Francia), Figura 4.4.
 - EGD y PL en la posición P2 (a la altura de la última costilla, 4-6 cm de la línea media dorsal).
 - GIM en la posición de la 5ª costilla, a 4-6 cm hacia la izquierda de la línea media.

Para finalizar se calculó la tasa de crecimiento, como ganancia de peso diaria a lo largo de la vida del animal hasta el día del testaje, y el porcentaje de magro de la canal con la Ecuación 4.1 por Muñoz Luna (comunicación personal).

$$\% \text{ MAGRO} = (56.28 - (0.67 * \text{EGD (mm) P2}) + (0.13 * \text{PL (mm) P2})) \quad \text{Ecuación 4.1.}$$

Donde EGD (mm) P2 es el espesor de grasa dorsal en mm en el punto P2; y PL (mm) P2 es la profundidad del lomo en mm en el punto P2, medidas realizadas por la técnica de ultrasonidos anteriormente descrita.

Figura 4.4. Protocolo de testaje



P2, Última Costilla 10ª Costilla 5ª Costilla

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.2.- Cálculo del índice de selección

Los parámetros genéticos utilizados en el cálculo del índice de selección fueron tomados de la bibliografía disponible para duroc e ibérico (duroc IMF Topigs Norsvin (Informes internos proyecto PROCADECO. Datos no publicados), Programa de mejora de las razas porcinas duroc, hampshire, landrace, large white y pietrain (ANPS, 2011), Programa de cría de la raza de porcino ibérica (AECERIBER, 2021), Programa de selección genética enfocada en la calidad de cerdos ibéricos puros de montanera publicado por Muñoz *et al.* (2018), Programa genético ibérico (Silió, 2000), y las publicaciones de Fernández *et al.*, (2003), y García-Casco *et al.*, (2014)) dado que no se conocían dichos parámetros para la población a estudiar. Dichos parámetros son los que aparecen en la Tabla 4.2:

Tabla 4.2. Parámetros genéticos

Carácter	h^2	σ_p	σ_p^2	σ_A	σ_A^2	Tipo
X ₁ = Lechones nacidos vivos (LNV)	0,12	2,075	4,306	0,719	0,517	materno
X ₂ = Lechones destetados (LD)	0,15	1,503	2,259	0,582	0,339	materno
X ₃ : % GIM (% GIM)	0,29	0,680	0,462	0,366	0,134	individual
X ₄ : Perímetro de la caña (Pcaña)	0,33	0,496	0,246	0,285	0,081	individual
X ₅ : Número de Tetas	0,35	0,683	0,466	0,404	0,163	individual
X ₆ : % Magro	0,32	0,0354	0,0013	0,020	0,0004	individual
X ₇ : GMD	0,24	0,0360	0,0013	0,018	0,0003	individual

Siendo, h^2 , la heredabilidad, σ_p desviación típica fenotípica, σ_p^2 la varianza fenotípica, σ_A desviación típica genética aditiva y σ_A^2 la varianza genética aditiva. Las correlaciones genéticas (rg) y fenotípicas (rp) que afectan a los diferentes caracteres, Tabla 4.3, son:

Tabla 4.3. Correlaciones genéticas (rg) y fenotípicas (rp)

rg/rp	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
X ₁		0,68	0	0,1	0,34	0	0
X ₂	0,52		0,08	0,1	0,39	0,12	0,14
X ₃	0	0,06		0	0	-0,3	-0,12
X ₄	0,08	0,06	0		0	0,1	0
X ₅	0,29	0,32	0	0		0	0
X ₆	0	0,1	-0,21	0,04	0		0,18
X ₇	0	0,12	-0,1	0	0	0,15	

rg: Rp:

Para efectuar los cálculos, tanto del mérito genético-económico de los candidatos a reproductores y la precisión de la estimación, se determinaron dos índices sintéticos de selección, lo cual aportará agilidad a la hora de ajustar el programa de mejora a las condiciones de mercado de cada momento. Se construyó un Índice de selección (I_{ib}) que combina parámetros maternos, y de eficiencia productiva y calidad de carne, compuesto por 7 caracteres.

La expresión matemáticas es la siguiente:

$$I_{ib} = \beta_1 A_1 + \beta_2 A_2 + \beta_3 A_3 + \beta_4 A_4 + \beta_5 A_5 + \beta_6 A_6 + \beta_7 A_7 \quad \text{Ecuación 4.2.}$$

donde,

β_i : representa los coeficientes de regresión múltiple de la función de beneficio, que hacen máxima la correlación entre estimación del valor genético aditivo estimado y el valor genético aditivo real para cada uno de los 7 caracteres.

A_i : Representa los valores genético-aditivos de los diferentes caracteres. A_1 =lechones nacidos vivos (LNV); A_2 =lechones destetados (LD); A_3 =% grasas intramusculares (%GIM); A_4 = perímetro de la caña ($P_{caña}$), A_5 = número de tetas (N_{tetas}); A_6 = % magro, y A_7 = GMD al testaje. La ecuación final para realizar la estimación del valor económico-genético global es:

$$H_{ib} = a^t \cdot I_{ib} \quad \text{Ecuación 4.3.}$$

donde,

a^t : es la matriz traspuesta del vector de los pesos económicos, siendo en este caso:

$$a^t_{ib} = [24 \ 29 \ 170 \ -50 \ 4 \ 2 \ 12]$$

Los pesos económicos se calcularon utilizando una ecuación de beneficios en la que se aplicó la información de los caracteres medios medidos en la población durante el año anterior de (LNV, LD, % GIM, $P_{caña}$, N_{tetas} , % Magro, GMD), así como el precio medio anual para los piensos y la cotización media de la carne de cerdo ibérico durante el año anterior (Blasco, 2021).

$$B = \text{Ingresos} - \text{Costes}$$

Dichos pesos económicos se obtienen mediante la derivada parcial de la función de beneficio con respecto a cada uno de los caracteres recogidos en el índice, manteniendo el resto a nivel de su valor medio, medido durante el año anterior.

$$a_{ib} = \left[\frac{\partial B}{\partial x_1} \right] \cdot x_1 + \left[\frac{\partial B}{\partial x_2} \right] \cdot x_2 + \left[\frac{\partial B}{\partial x_3} \right] \cdot x_3 + \left[\frac{\partial B}{\partial x_4} \right] \cdot x_4 + \left[\frac{\partial B}{\partial x_5} \right] \cdot x_5 + \left[\frac{\partial B}{\partial x_6} \right] \cdot x_6 + \left[\frac{\partial B}{\partial x_7} \right] \cdot x_7$$

Las variables explicativas o fuentes de información de los diferentes caracteres, Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Variables explicativas

<i>Carácter</i>	<i>FUENTE DE INFORMACIÓN</i>
<i>X1= Lechones nacidos vivos (LNV)</i>	Candidato/a reproductor
<i>X2= Lechones destetados (LD)</i>	Candidato/a reproductor
<i>X3: % GIM (% GIM)</i>	Candidato/a reproductor
<i>X4: Perímetro de la caña (Pcaña)</i>	Candidato/a reproductor
<i>X5: Número de Tetas</i>	Candidato/a reproductor
<i>X6: % Magro</i>	Candidato/a reproductor
<i>X7: GMD</i>	Candidato/a reproductor

El índice de selección sintético se estimó a través de una fórmula lineal que permitió valorar a los candidatos a reproductor. La fórmula utilizada fue:

$$H_{ib} = a^t \cdot \Gamma \cdot C^{-1} P \tag{Ecuación 4.4.}$$

siendo,

a^t = vector traspuesto de los pesos económicos.

Γ = matriz de covarianzas entre los valores genéticos aditivos y las variables explicativas .

C = varianzas y covarianzas entre las variables explicativas.

P = vector de las variables explicativas.

Γ respondiendo en nuestro caso, de selección individual, tiene la siguiente formulación:

$$\Gamma = \begin{pmatrix} \sigma^2_{A1} & Cov(A_1A_2) & Cov(A_1A_3) & Cov(A_1A_4) & Cov(A_1A_5) & Cov(A_1A_6) & Cov(A_1A_7) \\ Cov(A_1A_2) & \sigma^2_{A1} & Cov(A_2A_3) & Cov(A_2A_4) & Cov(A_2A_5) & Cov(A_2A_6) & Cov(A_2A_7) \\ Cov(A_1A_3) & Cov(A_2A_3) & \sigma^2_{A1} & Cov(A_3A_4) & Cov(A_3A_5) & Cov(A_3A_6) & Cov(A_3A_7) \\ Cov(A_1A_4) & Cov(A_2A_4) & Cov(A_3A_4) & \sigma^2_{A1} & Cov(A_4A_5) & Cov(A_4A_6) & Cov(A_4A_7) \\ Cov(A_1A_5) & Cov(A_2A_5) & Cov(A_3A_5) & Cov(A_4A_5) & \sigma^2_{A1} & Cov(A_5A_6) & Cov(A_5A_7) \\ Cov(A_1A_6) & Cov(A_2A_6) & Cov(A_3A_6) & Cov(A_4A_6) & Cov(A_5A_6) & \sigma^2_{A1} & Cov(A_6A_7) \\ Cov(A_1A_7) & Cov(A_2A_7) & Cov(A_3A_7) & Cov(A_4A_7) & Cov(A_5A_7) & Cov(A_6A_7) & \sigma^2_{A1} \end{pmatrix}$$

C, para un índice de selección por rendimientos individuales, tiene la siguiente forma:

$$C = \begin{pmatrix} \sigma^2_{CM1} & Cov(P_{CM1}P_{CM2}) & Cov(P_{CM1}P_{CI1}) & Cov(P_{CM1}P_{CI2}) & Cov(P_{CM1}P_{CI3}) & Cov(P_{CM1}P_{CI4}) & Cov(P_{CM1}P_{CI5}) \\ Cov(P_{CM1}P_{CM2}) & \sigma^2_{CM2} & Cov(P_{CM2}P_{CI1}) & Cov(P_{CM2}P_{CI2}) & Cov(P_{CM2}P_{CI3}) & Cov(P_{CM2}P_{CI4}) & Cov(P_{CM2}P_{CI5}) \\ Cov(P_{CM1}P_{CI1}) & Cov(P_{CM2}P_{CI1}) & \sigma^2_{CI1} & Cov(P_{CI1}P_{CI2}) & Cov(P_{CI1}P_{CI3}) & Cov(P_{CI1}P_{CI4}) & Cov(P_{CI1}P_{CI5}) \\ Cov(P_{CM1}P_{CI2}) & Cov(P_{CM2}P_{CI2}) & Cov(P_{CI1}P_{CI2}) & \sigma^2_{CI2} & Cov(P_{CI2}P_{CI3}) & Cov(P_{CI2}P_{CI4}) & Cov(P_{CI2}P_{CI5}) \\ Cov(P_{CM1}P_{CI3}) & Cov(P_{CM2}P_{CI3}) & Cov(P_{CI1}P_{CI3}) & Cov(P_{CI2}P_{CI3}) & \sigma^2_{CI3} & Cov(P_{CI3}P_{CI4}) & Cov(P_{CI3}P_{CI5}) \\ Cov(P_{CM1}P_{CI4}) & Cov(P_{CM2}P_{CI4}) & Cov(P_{CI1}P_{CI4}) & Cov(P_{CI2}P_{CI4}) & Cov(P_{CI3}P_{CI4}) & \sigma^2_{CI4} & Cov(P_{CI4}P_{CI5}) \\ Cov(P_{CM1}P_{CI5}) & Cov(P_{CM2}P_{CI5}) & Cov(P_{CI1}P_{CI5}) & Cov(P_{CI2}P_{CI5}) & Cov(P_{CI3}P_{CI5}) & Cov(P_{CI4}P_{CI5}) & \sigma^2_{CI5} \end{pmatrix}$$

La precisión de la estimación o correlación entre el valor genético-económico real y el estimado, r_{Hib} , también descrita por (Falconer y Mackay, 1996), ecuación 4.5:

$$r_{Hib} = \sqrt{\frac{a^t \Gamma C^{-1} \Gamma^t a}{a^t V a}} \quad \text{Ecuación 4.5.}$$

donde,

V es la matriz de varianzas y covarianzas entre los valores genéticos aditivos, y responde a la siguiente formulación (al ser selección individual, es idéntica a Γ):

$$V = \begin{pmatrix} \sigma^2_{A1} & Cov(A_1A_2) & Cov(A_1A_3) & Cov(A_1A_4) & Cov(A_1A_5) & Cov(A_1A_6) & Cov(A_1A_7) \\ Cov(A_1A_2) & \sigma^2_{A2} & Cov(A_2A_3) & Cov(A_2A_4) & Cov(A_2A_5) & Cov(A_2A_6) & Cov(A_2A_7) \\ Cov(A_1A_3) & Cov(A_2A_3) & \sigma^2_{A3} & Cov(A_3A_4) & Cov(A_3A_5) & Cov(A_3A_6) & Cov(A_3A_7) \\ Cov(A_1A_4) & Cov(A_2A_4) & Cov(A_3A_4) & \sigma^2_{A4} & Cov(A_4A_5) & Cov(A_4A_6) & Cov(A_4A_7) \\ Cov(A_1A_5) & Cov(A_2A_5) & Cov(A_3A_5) & Cov(A_4A_5) & \sigma^2_{A5} & Cov(A_5A_6) & Cov(A_5A_7) \\ Cov(A_1A_6) & Cov(A_2A_6) & Cov(A_3A_6) & Cov(A_4A_6) & Cov(A_5A_6) & \sigma^2_{A6} & Cov(A_6A_7) \\ Cov(A_1A_7) & Cov(A_2A_7) & Cov(A_3A_7) & Cov(A_4A_7) & Cov(A_5A_7) & Cov(A_6A_7) & \sigma^2_{A7} \end{pmatrix}$$

4.1.2.3.- Cálculo del progreso genético

El progreso genético indica cuanto mejor genéticamente son los animales de la actual generación en comparación con la anterior. Para ser capaces de determinar el progreso genético, se necesita conocer el potencial genético de los animales. El real potencial genético no se puede medir. Pero si se pueden estimar los valores genéticos con alta precisión, utilizando la información de mucha cantidad de descendientes (Groen, 2014).

En el supuesto de que consigamos implementar un ágil sistema de reposición y control de animales, el progreso genético-económico global en el núcleo que podría esperarse anualmente se calculó mediante la ecuación 4.6:

$$R_A = \frac{i \cdot x \cdot r_{HI} \cdot \sigma_A}{\Delta T} \quad \text{Ecuación 4.6.}$$

donde,

i es la intensidad de selección; r_{HI} es la precisión de las estimaciones; σ_A es la desviación típica genético-aditiva de cada carácter; ΔT es el intervalo generacional definido como “la media de edad de los padres al nacimiento de su descendencia que le va a sustituir para producir la siguiente generación”.

Con una proporción media de seleccionados del 35% de animales testados, y un intervalo de generación de 2,5 años, las previsiones para cada carácter serían:

$$i = 0,95$$

$$\Delta t = 2,5 \text{ años}$$

$$r_{HI} = 0,60$$

σ_A desviación típica genético-aditiva de cada carácter El cálculo respondería a la siguiente formula:

$$R_A = \frac{0,95 \cdot 0,60 \cdot \sigma_A}{2,5}$$

Por tanto, con un ΔT de 2,5 años, para cada carácter y después de incorporar en la población reproductores mejorantes seleccionados anualmente, se podría obtener un aumento o disminución del valor medio poblacional en el siguiente año según la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Progreso genético caracteres de interés en el primer año

<i>Carácter</i>	<i>R_a</i>
<i>X1= Lechones nacidos vivos (LNV)</i>	+0.1639 lechones
<i>X2= Lechones destetados (LD)</i>	+0.1327 lechones
<i>X3: % GIM (% GIM)</i>	+0.0834 % GIM
<i>X4: Perímetro de la caña (Pcaña)</i>	-0.0650 cm
<i>X5: Número de Tetas</i>	+0.0921 tetas
<i>X6: % Magro</i>	+0.0046 % magro
<i>X7: GMD</i>	+0.0041 gr/d

Por otro lado, la tendencia genética da una impresión de la respuesta genética realizada a largo plazo, hace posible evaluar la tendencia genética a lo largo de las generaciones (Groen, 2014). Depende de varios factores como son: el método de valoración genética utilizado, el tipo de información incluida en el modelo, el método de agrupar los animales por su base genética, y los valores de los componentes de la varianza que se utilizan en el análisis. Parra-Bracamonte (2007) mencionan que conocer la tendencia genética de la población, nos ayuda a entender el progreso genético conseguido en la misma a lo largo de los años, y corregir si fuese necesario cualquier desviación de lo esperado. Así mismo, la tendencia genética puede calcularse promediando los valores genéticos de los animales que han nacido en un año específico, mediante la regresión de estas medias anuales sobre cada uno de los periodos de tiempo (año), obteniéndose el cambio medio anual (Robinson, 1991). Y se suele visualizar mediante un gráfico que es útil para comprobar si hay inesperadas desviaciones con respecto a la línea (Groen, 2014). En nuestro caso, y debido a los pocos años de establecimiento del programa de selección, hemos optado por estimar una tendencia preliminar basada en la representación gráfica que nos proporciona el software Excel (Microsoft, Estados Unidos).

4.1.3.- Evaluación del programa genético

Por lo tanto, se valoró el programa de mejora genética interrebaño desarrollado en esta población mediante el estudio de la evolución de valores genéticos (índice de selección), y fenotípicos para el carácter % GIM de las razas puras, ibérica y duroc, y el producto final, ibérico (cruzado al 50% Duroc) Templario™ durante los cuatro primeros años de puesta en marcha, entre septiembre de 2017 y mayo de 2021, Figura 4.5.

4.1.3.1.- Índice de selección

Se realizó, por un lado, el cálculo del índice de selección de las razas puras ibérica y duroc Templario™, con los datos recogidos de testaje (% GIM, $P_{caña}$, N_{tetas} , % Magro y GMD) y de camadas (LNV y LD) de 3035 y 618 hembras ibéricas y duroc Templario™. Y, por otro lado, el resultado de este sirvió para elegir los futuros reproductores que se incorporaron a la población en función de las necesidades de reposición de la granja, 1580 y 235 hembras ibéricas y duroc Templario™, respectivamente en total.

4.1.3.2.- Evolución en el tiempo de mejora del índice de selección

Con los datos del resultado del cálculo del índice de selección del anterior apartado, se realizó un análisis estadístico descriptivo y de regresión lineal de su evolución en el tiempo con el software de estadística para Excel (Microsoft, Estados Unidos), XLSTAT versión 2016.02.28451 (Addinsoft, Estados Unidos), tanto por un lado para el conjunto de datos de todos los animales testados, como por otro, para los seleccionados como futuros reproductores.

4.1.3.3.- Evolución en el tiempo de mejora fenotípica del % GIM

Con los datos del resultado de testaje de % GIM de los animales del anterior apartado, se realizó un análisis estadístico descriptivo y de regresión lineal de su evolución en el tiempo con el software de estadística para Excel (Microsoft, Estados Unidos), XLSTAT versión 2016.02.28451 (Addinsoft, Estados Unidos), tanto por un lado para el conjunto de datos de todos los animales testados, como por otro, para los seleccionados como futuros reproductores.

4.1.3.4.- Impacto de mejora de verraco terminal duroc y la técnica de laboratorio sobre el % GIM del producto final ibérico (50 % duroc) en “Cebo de Campo”.

También, se realizó un estudio el efecto del verraco finalizador mejorante, y la técnica de laboratorio sobre el contenido de % GIM en la primera generación del programa genético. Mediante un análisis estadístico descriptivo y de varianza (ANOVA) con el software de estadística para Excel (Microsoft, Estados Unidos), XLSTAT versión 2016.02.28451 (Addinsoft, Estados Unidos).

Para esto, se utilizaron los datos de % GIM, obtenidos mediante análisis de laboratorio de muestras de carne de *Longissimus dorsi*, del experimento 3 de esta tesis. Pertenecientes a los animales de los dos lotes experimentales de cerdos ibérico (cruzado al 50 % con duroc) criados en “Cebo de Campo”, sacrificados a los 365 días de edad y 160 kg de PV, A y B.

A el LOTE A, se le asignaron los datos de % GIM de 59 individuos (23 hembras y 36 machos), descendientes del verraco finalizador duroc Templario™ (DT) de población fundacional, y al LOTE B, de 61 animales (29 hembras y 32 machos) descendientes del verraco finalizador duroc Templario™ GIM

(DTGIM)) de 1ª generación. Y el resultado de % GIM obtenido fue mediante dos técnicas de laboratorio: a) método Soxhlet con unidad extractora Soxhlet (Soxhlet System HT2 1045 Tecator, Suecia) (datos que aparecen en el Experimento 3) y b) método descrito por Segura y López Bote (2013).

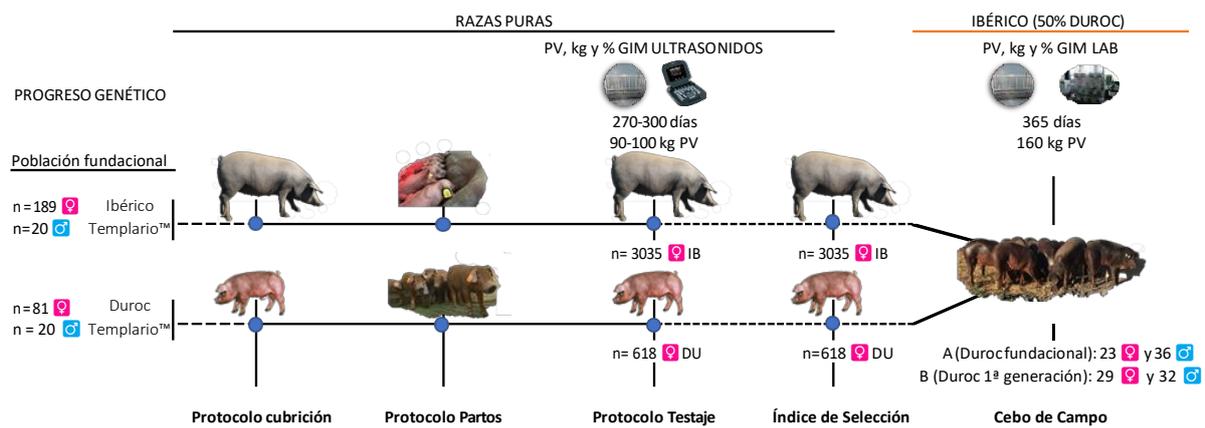
La estructura del análisis de varianza fue la siguiente, donde el % GIM medido fue la variable dependiente (Y) y el tipo de verraco finalizador (A y B) y la técnica de laboratorio (Soxhlet y Segura), fueron las explicativas. Los datos se presentaron como medias y error estándar de la media (SEM) del conjunto de datos en cada caso. El nivel de significación estadística para todos los análisis fue predeterminado ($P < 0,05$).

$$Y_{hij} = \mu + (V)_h + (TL)_i + \epsilon_{ij} \quad (\text{Parámetros calidad de carne})$$

donde,

Y = datos observados para el cerdo j del tratamiento h e i; μ = media general. V = verraco finalizador (h = A, B); TL = técnica de laboratorio (i = Soxhlet, Segura); ϵ = error residual.

Figura 4.5. Diseño Experimental 1.1. Ganancia genética y fenotípica



Donde: PV: pesada de PV, en kg. ULTRASONIDOS: medición por ultrasonidos del % GIM. Fuente: [Elaboración propia](#).

4.2.- Diseño del experimento 2:

Modelización nutricional de cerdas ibéricas para la producción de lechones.

El experimento 2 se realiza en la misma granja que el experimento 1 y con las mismas condiciones de producción, a su vez se dividió en tres estudios que van conectados entre sí, por un lado, el del modelo de crecimiento, y por otro el de la gestación y lactación de la cerda. Donde el principio fundamental del modelo fue, predecir de los cambios de peso corporal y necesidades nutricionales de la cerda a lo largo de su vida en función de potencial de crecimiento biológico, evitando un excesivo engrasamiento.

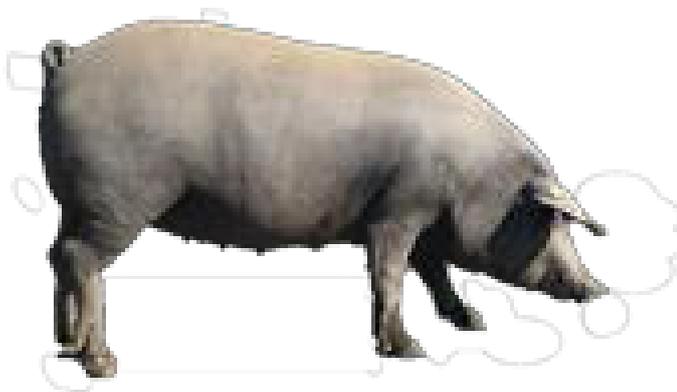
4.2.1.- Diseño del experimento 2.1:

Modelización nutricional de crecimiento de cerdas ibéricas en recría.

4.2.1.1.- Animales y dietas

Para la modelización nutricional de la cerda ibérica en crecimiento (Figura 4.6), se seleccionaron un total de 70 animales de manera aleatoria. Los animales se alojaron en corrales de recría en un medio natural, con espacio cubierto, acceso al aire libre y suelo de tierra, además los animales disponían de un espacio cubierto para descansar y protegerse con una superficie disponible de 1 m² /cerdo. Se distribuyeron en dos lotes homogéneos de 30 y 40 cerdas respectivamente por separado, tuvieron agua a libre disposición durante toda la recría. Tuvieron acceso al pienso ad libitum hasta los 180 días de edad y restringido desde esa edad en adelante.

Figura 4.6. Cerda ibérica futuras reproductoras ibéricas en crecimiento

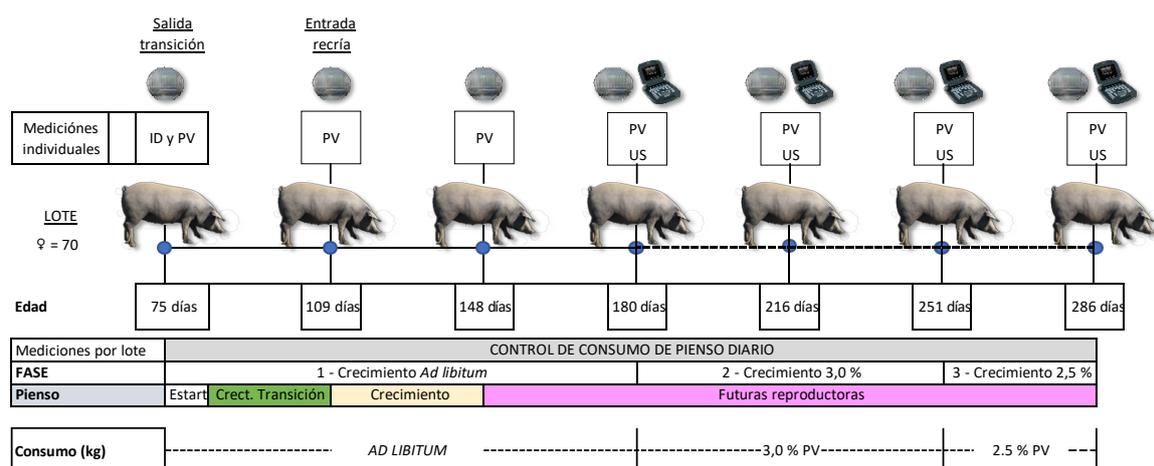


Fuente: Elaboración propia.

El programa de alimentación se realizó en 3 fases: fase 1 crecimiento *ad libitum*, con libre acceso al agua y pienso hasta los 180 días de edad, fase 2 crecimiento 3,0 %, con ajuste de la cantidad de pienso aportada a un 3,0 % de su PV hasta los 251 días de edad y fase 3 crecimiento 2,5 %, con ajuste de la cantidad de pienso aportada a un 2,5 % de su PV hasta los 286 días de edad a fin de establecer a posteriori los parámetros de la curva de crecimiento (Figura 4.7).

Los ingredientes, la composición química de las dietas experimentales, se basaron en una mezcla de harina de cereales y soja siguiendo las recomendaciones (FEDNA, 2013), y se presentan en la Tabla 4.6, a excepción de la estimación de contenido de nutrientes de la fase de transición que fue de 2.496 kcal/kg (EN) y 1,24 % de LYS DIS de los 6 a los 12kg de PV (pienso prestarter, *ad libitum*), 2.464 kcal/kg (EN) y 1,14 % de LYS DIS. de los 12 a 20 kg de PV (pienso estándar, *ad libitum*), y 2357 kcal/kg (EN) y 0,77 % de LYS DIS de los 20 a 30 kg de PV (pienso transición al crecimiento, *ad libitum*).

Figura 4.7. Diseño Experimental 2.1. Modelización de crecimiento de la recria de futuras reproductoras ibéricas



Donde: PV: pesada de PV, en kg. US: medición por ultrasonidos del EGD, en mm, y PL, en mm.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.6. Ingredientes y composición de las dietas durante las fases 1, 2 y 3, crecimiento ad libitum (pienso de crecimiento y futuras reproductoras), crecimiento restringido (pienso futuras reproductoras)

Pienso Crecimiento		Futuras reproductoras	
Ingredientes	g/kg	Ingredientes	g/kg
Cebada	163	Cebada	253,1
Trigo	299.9	Trigo	220,0
Soja-44	167.5	Soja-44	180
Maíz	240	Maíz	180,5
Salvado-cuartas	12	Salvado-cuartas	60,0
Manteca	20	Cascarilla Soja	40,0
Harina Colza	70	Manteca	10
Carbonato Cálcico	9.5	Harina Colza	20
Fosfato Cálcico	7.7	Carbonato Cálcico	13,15
Sal	4.5	Fosfato Bicálcico	9,3
Premix	4	Sal	5,0
Lisina suplemento	1.8	Premix	6
		Lisina suplemento	1,9
Composición calculada		Composición calculada	
EM, MJ/kg	13,242	EM, MJ/kg	12,556
EN, MJ /kg	9,832	EN, MJ /kg	9,205
LIS DIS, g/kg	7.6	LIS DIS, g/kg	7,5
Composición analizada		Composición analizada	
	g/kg pienso		g/kg pienso
MS	883,2	MS	884,0
PB	160	PB	156,9
Grasa bruta	40,8	Grasa bruta	31,2

4.2.1.2.- Parámetros zootécnicos medidos

Como muestra esquemáticamente el protocolo en la Figura 4.7 (Esquema del diseño experimental 2.1), de recogida datos de parámetros productivos contemporáneos para ambos lotes experimentales. Por un lado, se monitorizó las mediciones repetidas individuales de los cerdos a lo largo del tiempo: PV (kg) medido manualmente, EGD (mm) y PL (mm) medido mediante una sonda lineal de ultrasonidos EXAGO (IMV Imaging, Francia) en la posición P2 (en la última costilla, a 4-6 cm de la línea media dorsal); se calculó la GMD (kg/d) individual. Y, por otro lado, se monitorizó la medición del consumo diario de pienso por lote (CMD; kg/d).

4.2.1.3.- Modelo de crecimiento

a).- Ajuste de la curva de crecimiento

En este estudio, para describir el crecimiento de la cerda ibérica pura desde el final de la fase de transición (lechonera, 70 días de edad) hasta su madurez sexual (350 días de edad), con el fin de un desarrollo corporal óptimo, evitando el engrasamiento excesivo y potenciando el desarrollo esquelético. Se utilizó un modelo de crecimiento lento descrito mediante una curva multifase, debido a un marcado ritmo de crecimiento y consumo de pienso diferencial para cada una de ellas.

El ajuste matemático de la curva de crecimiento en función de las observaciones requirió de una ecuación por fase: una para el ajuste de la primera fase, en condiciones de alimentación *ad libitum*, donde los animales expresan su ritmo de "crecimiento potencial", y otras dos para las posteriores, en condiciones de alimentación restringida, donde los animales expresan un ritmo de "crecimiento diferencial". El "crecimiento potencial" fue descrito mediante la ecuación de Gompertz (ecuación 1, Tabla 4.7) que calcula la evolución del peso vivo instantáneo (PV_i) en función de la edad. La restricción alimentaria distorsiona el cálculo del crecimiento utilizando la ecuación de Gompertz, por lo que, el "crecimiento diferencial", se describió tanto para las fases de crecimiento "lento", mediante la ecuación Gil, 2019 (ecuación 3, Tabla 4.7), que calcula la evolución del (PV_i), a partir del peso vivo instantáneo del día anterior (PV_{i-1}) más una ganancia de peso potencial correspondiente a PV_{i-1} (GMD_i) multiplicada por el coeficiente del cambio de la tasa de crecimiento ($F, \%$), el cual se ajustó junto con el resto de parámetros de la ecuación.

La curva de crecimiento diferencial se describió en 3 fases diferentes mediante una ecuación distinta para cada una de ellas (ecuaciones 1, 3.1, y 3.2 (Tabla 4.7)), como evolución del PV en el tiempo en función de la cantidad de pienso aportado (Gráfico 5.5). Para la fase 1, se ajustó la curva de "crecimiento

potencial" mediante la ecuación de Gompertz para calcular el PV_i en función de la edad:

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

donde, PV_m : PV a la madurez; k: precocidad; EDAD_{PI}: edad de máxima ganancia de peso.

Para las fases 2 y 3, se ajustaron las curvas de "crecimiento lento" utilizando las ecuaciones de Gil, 2019 (comunicación personal) para calcular el PV_i basado en el peso corporal del día anterior (PV_{i-1}) más la tasa de crecimiento diario restringido:

$$PV_i = PV_{i-1} + GMD_i * (1 + F2) \text{ ecuación 3.1 (Fase 2)}$$

$$PV_i = PV_{i-1} + GMD_i * (1 + F3) \text{ ecuación 3.2 (Fase 3)}$$

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

$$GMD_i = -k * PV_{i-1} * LN \frac{PV_{i-1}}{PV_m} \text{ ecuación 2}$$

y, F2 y F3 son los coeficientes de la tasa de crecimiento diario restringido.

b).- Ajuste de la curva de consumo

La evolución del consumo diario de pienso a lo largo del tiempo se estimó: primero para la fase de alimentación *ad libitum* (1) con la ecuación paramétrica de consumo de EM (kcal/d) (NRC, 2012), (Tabla 4.13):

$$EM_i = A * \{1 - e^{-e^{(-b)*PV_i^c}}\} \text{ (ecuación 4)}$$

que es función del PV_i para un "potencial de crecimiento", dividido por la concentración de EM de cada pienso; y segundo para las fases de alimentación de restricción (2 y 3) mediante una optimización económica, una vez calculadas las curvas de crecimiento y de consumo de pienso *ad libitum*, que se explica en detalle en el siguiente apartado.

Tabla 4.7. Ecuaciones del modelo de crecimiento diferencial, ibérico hembras de recría

Item	Ecuación
Modelo de crecimiento potencial	
Fase 1	$PV_i = PV_m * e^{-e^{-k*(EDAD_i - EDAD_{PI})}}$ (1)
Derivada de la ecuación de Gompertz	$GMD_i = -k * PV_{i-1} - 1 * LN \frac{PV_{i-1}}{PV_m}$ (2)
Modelo de crecimiento diferencial	$PV_i = PV_{i-1} + GMD_i * (1 + Fn)$ (3)
Fase 2	$PV_i = PV_{i-1} + GMD_i * (1 + F2)$ (3.1)
Fase 3	$PV_i = PV_{i-1} + GMD_i * (1 + F3)$ (3.2)
Consumo de EM estimado, kcal/d	$EM_i = A * \{1 - e^{-e^{(-b)*PV}}\}^c$ (4)
Suma de diferencia de cuadrados	$y = \sum(x - y)^2$ (5)

1. Ecuación del modelo de "crecimiento potencial". Parámetros: PV_m = peso vivo a la madurez (kg); k = precocidad; $EDAD_{PI}$ = edad a la máxima ganancia (d). Ecuación de Gompertz (1825).
2. Ecuación de la GMD, calculada de la primera derivada de la ecuación de Gompertz (1) transformada como una ecuación de EDAD (PV). Ecuación de Martínez *et al.* (2010).
3. Ecuaciones del modelo de "crecimiento diferencial". Ecuación Francisco Gil (2019). Comunicación personal.
 - 3.1. F2, caída de la tasa de crecimiento. Calculado por optimización del modelo.
 - 3.2. F3, caída de la tasa de crecimiento. Calculado por optimización del modelo.
4. Estimación de ME consumida, kcal/d (NRC, 2012).

4.2.1.4.- Optimización del modelo

El ajuste del modelo desarrollado por Francisco Gil Rueda (comunicación personal) se realizó utilizando Excel (Microsoft, USA), para describir un proceso biológico por optimización matemática multifase de los parámetros medios productivos observados. El patrón se construyó utilizando las ecuaciones de determinación del crecimiento y consumo de pienso, anteriormente explicadas, y calculando sus parámetros que hacen el ajuste óptimo con respecto a los datos productivos observados, se basó en el ajuste de la curva de crecimiento, por lo tanto, el primer ajuste que se realizó fue estimar los parámetros de la curva de crecimiento, mediante el cálculo del mínimo de la suma de diferencia de cuadrados entre los valores de PV_i predichos por las ecuaciones de crecimiento y los valores observados. Una vez obtenida la curva de crecimiento óptima, se realizó un segundo ajuste para calcular la curva de consumo de pienso en condiciones ad libitum (Fases 1), estimando los parámetros de la ecuación de consumo de EM (ecuación 4, Tabla 4.7) en función del PV_i predicho, que ajustan un IC del pienso óptimo durante todo el crecimiento y engorde. Por último, una tercera optimización económica global estimó la curva de consumo de pienso en condiciones de restricción (Fases 2 y 3), estimando los kilogramos de pienso instantáneo aportado como porcentaje del kg de PV_i del cerdo y los niveles óptimos de EM (kcal) por kilogramo de pienso para obtener un mínimo IC del pienso y de coste de este por kg de PV repuesto.

4.2.2.- Diseño del experimento 2.2:

Modelización nutricional de gestación y lactación de cerdas ibéricas.

4.2.2.1.- Animales, granja y dietas

a).- Animales

Para la modelización nutricional de cerdas ibéricas, en gestación y lactación, se utilizó una base de datos de parámetros medidos en granja de un total de 327 cerdas y sus camadas (Figura 4.8), repartidas en 7 ciclos, 63, 38, 32, 34, 19 y 14 reproductoras, de ciclos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 respectivamente que representaron de manera significativa la producción de la población objeto de estudio.

Figura 4.8. Cerda ibérica y su camada de lechones recién nacidos



Fuente: Elaboración propia.

a).- Granja

Se partió de características productivas globales de la granja, Tabla 4.8., para el desarrollo del modelo (como valores iniciales en los cálculos iterativos de optimización), para el ajuste del modelo global de cerdas por ciclo.

Tabla 4.8. Datos de partida de la granja

Estado reproductivo	Partida
Edad 1ª cubrición, d	322
Intervalo D-C, d	7
Nº ciclos/cerda y año	2,46
Duración gestación, d	113
Día de cambio de pienso, gestación	
Cambio de volumen 1º, d	45
Cambio de volumen 2º, d	105
Duración lactación, d	28,6
Duración ciclo completo, d	149

b).- Dietas

Todas las cerdas recibieron la misma pauta de alimentación a lo largo del experimento, distinguiéndose en la misma, dietas de gestación y lactación, y dentro de éstas, dietas adaptadas para cerdas de primer ciclo (primíparas) y para las de más de un ciclo de producción (múltiparas). Las curvas de alimentación fueron las siguientes: curva de alimentación de gestación: donde a cada cerda se le aportó 1,80 kg/día para la primípara; y 2 kg/día a la múltipara; y la curva de alimentación de lactación fue la siguiente: un aporte de 1,8 kg/día los 3 primeros días de lactación, 3 kg/día desde el 4 al día 11 y 4 kg/día desde el día 12 hasta el final de la lactación para la primípara y la múltipara.

Los piensos estaban compuestos por una mezcla de cereales, leguminosas, oleaginosas y minerales y vitaminas formuladas a mínimo coste de manera equilibrada para cubrir las necesidades nutricionales en cada fase. El software de formulación utilizado fue Brill® Formulation (Feed Management Systems™, Estados Unidos) y las principales características nutritivas fueron: en el pienso de gestación, $EM_{gestación} = 2981$ kcal/kg, PB= 13,90 %, Lisina $Dig_{gestación} = 0,73$ %, Grasa Bruta = 5,55 %, FB= 7%, FND 19,10 %, y el pienso de lactación $EM_{lactación} = 3071$ kcal/kg, PB = 16,01 %, Lisina $Dig_{lactación} = 0,81$ %, Grasa Bruta= 5,67%, FB = 6,0 %, FND = 17,50 %. El precio de los piensos fue de 233,74 y 250,72 €/t de gestación y lactación respectivamente.

4.2.2.2.- Base de datos observados

El modelo representa a la cerda como una estructura productiva dinámica, compartimentada por sucesos productivos (gestación y lactación), y cada compartimento definido por sus propias características productivas, Figura 4.9; cuyos rendimientos dependen del ciclo. Para la recogida de los datos que definen cada compartimento por cerda y ciclo, se estableció una rutina de trabajo durante 25 lotes de la granja:

Los parámetros de rendimiento productivo de la cerda medidos:

- a) Gestación: consumo de pienso, PV (kg) y EGD (mm) P2 a la cubrición y anteparto.
- b) Lactación: consumo de pienso, PV (kg) y EGD (mm) P2 al posparto y al destete.

Los parámetros de rendimiento productivo de la camada medidos:

- a) Número de lechones nacidos vivos (NV) y destetados (ND).
- b) Peso de lechones nacidos vivos y destetados.

Las pesadas se hicieron con báscula gravimétrica convencional y las medidas de grasa con equipo de ecografía por ultrasonidos EXAGO (IMV Imaging, Francia) conectado al software Biosoft Tool Box II for Swine (Biotronics Inc, Estados Unidos). El peso posparto se calculó sustrayendo el peso de *conceptus*, estimado mediante las ecuaciones de Dourmad *et al.* (1999).

La colección de datos se depuró, a través de una reducción de datos de PV a la cubrición, anteparto, postparto y destete (eliminación de valores atípicos y erróneos mediante test de Grubbs con un nivel de significación del 99 %), de tal manera que cada uno de los ciclos y PV siguieran una distribución normal. El conjunto de datos recogidos quedó finalmente en los relativos a 297 cerdas.

Figura 4.9. Diseño Experimental 2.1. Cambios fisiológicos de la cerda en su ciclo de producción

GESTACIÓN			INPUTS	LACTACIÓN		
FECHA DE LA CUBRICIÓN	DURACIÓN DE LA GESTACIÓN			FECHA DEL PARTO	DURACION DE LA LACTACION	FECHA DE DESTETE
PESO VIVO A LA CUBRICIÓN	INCREMENTO DE PESO DURANTE GESTACIÓN		Nº CERDA GENÉTICA FECHA NACIMIENTO TEMPERATURA Nº DE GESTACIÓN	PESO VIVO ANTEPARTO	PESO ESTIMADO POSTPARTO Y SU CAMBIO DURANTE LA LACTACIÓN	PESO VIVO AL DESTETE
ESPEJOR DE GRASA P2 CUBRICIÓN	INCREMENTO ESPEJOR P2 EN GESTACIÓN			ESPEJOR DE GRASA P2 ANTEPARTO	CAMBIO EN ESPEJOR P2	ESPEJOR DE GRASA P2 DESTETE
PROFUNDIDAD DE LOMO P2 CUBRICIÓN	INCREMENTO DE PESO POR CONCEPTUS	INCREMENTO DE PESO MATERNAL CORPORAL		PROFUNDIDAD DE LOMO P2 ANTEPARTO	NÚMERO DE LECHONES NACIDOS/ DESTETADOS	PROFUNDIDAD DE LOMO P2 DESTETE
ESTADO DE CARNES GESTACIÓN				ESTADO DE CARNES PARTO	CAMBIO DE PESO MATERNAL CORPORAL	ESTADO DE CARNES DESTETE
EM Y PB PIENSO			EFICIENCIA DE LA CERDA  ↓ PIENSO CONSUMIDO EN GESTACIÓN Y LACTACIÓN POR KILO DE CAMADA PRODUCIDO	EM Y PB PIENSO		
CONSUMO PIENSO REAL GESTACIÓN EN TRES FASES: 1) DEL DÍA DE INICIO AL 50. 2) DEL DÍA 50 AL 85. 3) DEL DÍA 85 AL PARTO.	PROTEÍNA FETOS	PROTEÍNA ÚTERO Y MAMAS		CONSUMO PIENSO REAL LACTACION	PRODUCCIÓN LECHE	BALANCE ENERGETICO CORPORAL
	PROTEÍNA PLACENTA Y FLUIDOS	PROTEÍNA CORPORAL MATERNAL RETENIDA POR TIEMPO Y ENERGÍA				
	GRASA EN CONCEPTUS	GRASA MATERNAL				
CONSUMO DE EM	EM PARA CONCEPTUS	EM CORPORAL, ÚTERO Y MAMAS		CONSUMO DE EM	EM PARA PRODUCCION DE LECHE	EMm DURANTE LACTACION
	EMm DURANTE GESTACIÓN					
BALANCE EM DURANTE GESTACIÓN (+)			BALANCE EM DURANTE LACTACIÓN (+/-)			
BALANCE TEJIDO GRASO MATERNAL	DEPOSICIÓN DE RESERVAS	BALANCE EN MAGRO MATERNAL	CAMBIO DE PESO DURANTE LACTACIÓN (ACUMULACIÓN O MOVILIZACIÓN DE RESERVAS)			
INCREMENTO DE GRASA CORPORAL		INCREMENTO DE PROTEÍNA CORPORAL	CAMBIO EN PROTEÍNA CORPORAL		CAMBIO EN GRASA CORPORAL	
BALANCE DE PESO CUBRICIÓN DESTETE						

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.3.- Aproximación general del modelo

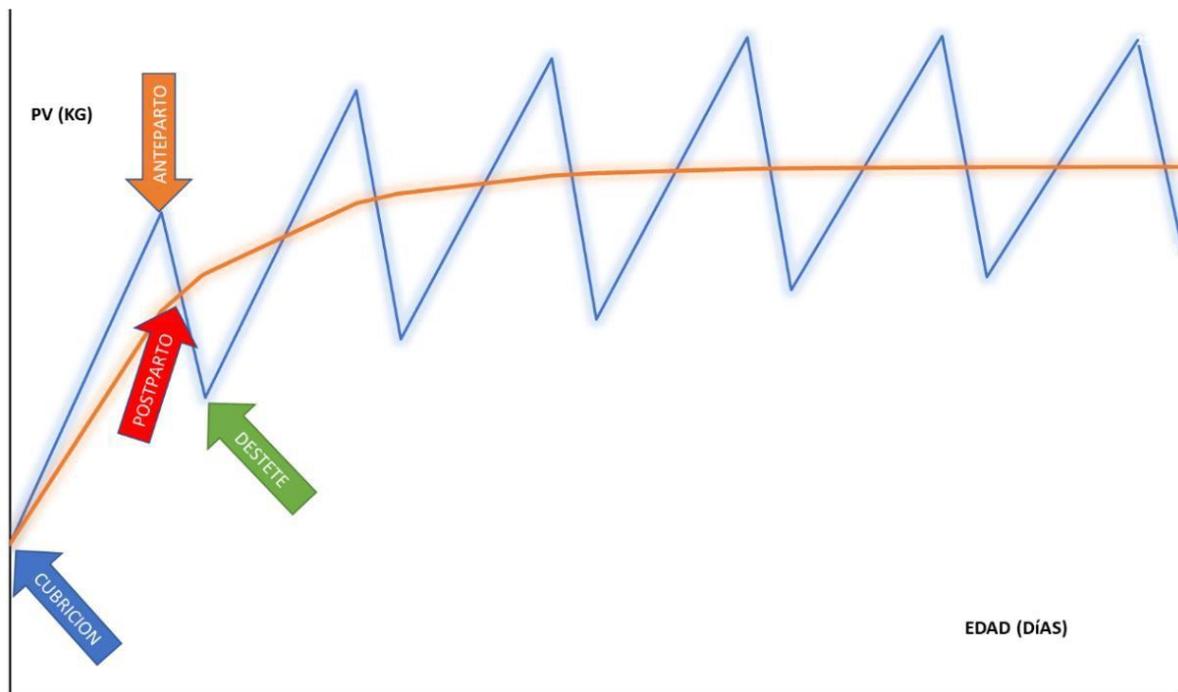
Un modelo computacional desarrollado por Francisco Gil Rueda (comunicación personal no publicada) usando Visual Basic for Applications (VBA) en Excel (Microsoft, Estados Unidos), se usó para manejar los cálculos y estimaciones del modelo por ciclo desde la información disponible de la base de datos y usando las ecuaciones de las Tablas 4.9 y 4.10, convertidas a funciones definidas por el usuario (UDF) bajo Excel (Microsoft, Estados Unidos), de tal manera que se pudo evaluar la evolución de cada cerda de manera individual, para posteriormente consolidarlo en un modelo global, ciclo a ciclo y con el que finalmente se pudo optimizar una función de coste de kilo de pienso consumido en ambas fases por kilo de camada producido al destete.

El enfoque del modelo utilizado en este estudio sigue la metodología de los modelos descritos en la bibliografía, para la gestación (Dourmad *et al.*, 2017) y lactación (Gauthier *et al.*, 2019), que se basan en (Dourmad *et al.*, 2008) y las ecuaciones utilizadas para calcular las necesidades nutricionales de cada compartimento, de mantenimiento y termorregulación, crecimiento corporal, crecimiento de conceptus y producción de leche, según lo descritos por (Dourmad *et al.*, 1998; Dourmad *et al.*, 1999; Dourmad *et al.*, 2008; NRC, 2012) y (Hansen *et al.*, 2012) que incluye la composición de la leche y su producción para calcular su valor energético. Para este modelo de cerdas se prefirió mantener el concepto de EM y no el de EN por existir menos información disponible que en crecimiento, y ser un modelo más complejo ya que la eficiencia de la utilización de la energía varía de acuerdo con el estado fisiológico de la cerda. Sin embargo, se calculó el valor de EM y así tenerlo en cuenta a los efectos de la composición de las dietas de acuerdo con el sistema de valoración de la EN propuesto en los estudios publicados por Noblet *et al.* (1993) y Noblet *et al.* (1994).

4.2.2.4.- Modelo de evolución de peso durante la vida reproductiva de la cerda

Como primer abordaje, fue determinante para el modelo conocer el crecimiento y la evolución de cambios de PV en la vida productiva sobre el mismo, ya que la cerda continua en crecimiento al menos hasta terminado su tercer ciclo, hecho fundamental para tener en cuenta para el cálculo correcto de necesidades nutricionales. Una vez conocido los pesos de la recria (experimento 2.1) como a lo largo de su vida, se calculan los parámetros que definen la curva de crecimiento, que es el punto de partida de la modelización de gestación y lactación, con la ecuación de (Gompertz, 1825), línea continua naranja Gráfico 4.1.

Gráfico 4.1. Evolución óptima del PV a lo largo de la vida productiva de la cerda



Fuente: Gil Rueda, F. (2019), datos no publicados, comunicación personal.

4.2.2.5.- Determinación de modelo de gestación y lactación

En un segundo abordaje, para el cálculo del modelo de gestación, que se utilizó para realizar el diseño de los piensos y sus correspondientes curvas de alimentación para un mínimo coste de kg de camada de lechón producida, para lo cual se utilizaron los datos de partida de la granja (diseño experimental), todos los parámetros observados de cerdas y sus camadas (base de datos), el ajuste de cambio de PV de cerdas en su vida productiva, junto con los objetivos de eficiencia de los lechones (ganancia de peso de la camada) y el % pérdidas de PV en lactación, sirvieron como entrada de parámetros iniciales del modelo para el cálculo de necesidades nutricionales.

A partir de la entrada de parámetros iniciales, se calcularon las necesidades óptimas tanto a nivel alimentario como nutricional de este estudio; se llevó a cabo un cálculo completo de éstas con la herramienta desarrollada con F. Gil (2019; comunicación personal) que incorporan todas las ecuaciones del siguiente apartado, para el diseño posterior de las dietas, y curvas de alimentación de gestación y lactación.

Dada la gran cantidad de parámetros de la función objetivo y para evitar mínimos locales (Excel Solver (Microsoft, Estados Unidos)), se llevó a cabo el ajuste en tres fases:

1. Parámetros iniciales del modelo de gestación sujetos a la ganancia de camada establecida como objetivo, unido a no superar el 15 % de pérdidas de PV lactación por ciclo, además de establecer unas curvas de alimentación en tres fases (ya que de partida se usó una curva plana), además de otros parámetros adicionales, como ganancia nitrogenada maternal, T^a ambiental, ejercicio, ajustes en el nivel de EM_m , etc, tal y como contempla el modelo del NRC (2012).
2. Parámetros iniciales del modelo de lactación sirviendo de partida las pérdidas de PV calculadas en el apartado anterior, dando a lugar un ajuste de consumo previsto por ciclo.
3. A partir de los dos submodelos anteriores, se realizó la optimización económica de la función objetivo coste de kg de pienso consumido por la cerda por kg de camada producido al destete en cada ciclo, sujeto a: coste de los piensos según su concentración energética y ratio lisina digestible por EM, días de destete, peso óptimo a la primera cubrición, etc.

Adicionalmente, y a partir de los datos medidos, el modelo estimó otros parámetros, como la composición corporal en magro y grasa, a fin de analizar su evolución a lo largo de todo su proceso productivo y poder evaluar posibles ganancias de peso maternal y movilización de tejido maternal, importante en el cálculo del balance energético de la cerda.

4.2.2.6.- Ecuaciones del modelo de gestación

En cerdas gestantes se da prioridad a las necesidades de mantenimiento y el desarrollo de fetos y desarrollo maternal (útero y mamas), en la Tabla 4.9 se describen las ecuaciones utilizadas en el modelo de gestación para el cálculo de: a) las necesidades de mantenimiento (EM_m), KJ se calcularon con la ecuación (1) (Dourmad *et al.*, 2008), a la que se le sumará la cantidad de energía por actividad física (EM_a), KJ) con la ecuación (2); b) las necesidades para el crecimiento corporal de proteína maternal mediante la ecuación (3) y (4) (Dourmad *et al.*, 1998); c) la composición de fetos, "conceptus", glándula mamaria y útero, ecuaciones (5 a 16), (Dourmad *et al.*, 1999); d) el EGD que sirvió para contrasta la coherencia del modelo con las mediciones en campo se utilizó la ecuación (15) (NRC, 2012).

Valores para k_p y k_f se han estimado (0,60 y 0,80 respectivamente; (Noblet *et al.*, 1990). El k_r estimado (0.80) es similar al k_f e implica que la mayoría de la energía movilizada de la cerda para el apoyo a la gestación debería ser del tejido adiposo (Noblet *et al.*, 1990); (Dourmad *et al.*, 2008).

Tabla 4.9. Ecuaciones de utilización de energía y partición de nutrientes en gestación

Item	Ecuación*	Nº
Energía (EM) para mantenimiento (EM _m), KJ	EM _m = 440 KJ PV _{cerda} ^{-0,75} d ⁻¹	1
Energía por actividad física (EM _a), KJ	EM _a = 0,30 KJkgPV _{cerda} ^{-0,75} d ⁻¹ min ⁻¹	2
Proteína maternal (T), g	PD _{mat} (T) = [1522,48 (56 - t)/36] ^{2,2} / [(1+((56-t)/36) ^{2,2}]	3
Proteína maternal (I), g	PD _{mat} (I) = a (Consumo EM-EM _m) x 6,25 x DurGest	4
Peso útero vacío, g	Ln (peso) = 7,141 - 3,667 e ^{-0,0326t} + 0,0829n	5
Energía útero vacío, KJ	Ln (energía) = 9,853 - 3,098 e ^{-0,00691t} + 0,0654n	6
Proteína útero vacío, g	Ln (proteína) = 7,653 - 4,207 e ^{-0,00448t} + 0,0724n	7
Peso fetos, g	Ln (peso) = 9,095 - 17,69e ^{-0,0305t} + 0,0878n	8
Energía fetos, KJ	Ln (energía) = 11,64 - 13,94 e ^{-0,0182t} + 0,0822n	9
Proteína fetos, g	Ln (proteína) = 7,951 - 14,05 e ^{-0,0188t} + 0,0867n	10
Peso "conceptus", g	Ln (peso) = 8,621 - 21,02e ^{-0,0530t} + 0,1114n	11
Energía "conceptus", KJ	Ln (energía) = 11,72 - 8,62e ^{-0,0138t} + 0,0932n	12
Proteína "conceptus", g	Ln (proteína) = 9,090 - 8,71 e ^{-0,0149t} + 0,0872n	13
Peso glándula mamaria, g	Ln (peso) = 6,47 - 0,080e ^{-0,04576(t-45)}}	14
Energía glándula mamaria, KJ	Ln (energía) = 2,92 - 6,898e ^{-0,00185(t-45)}}	15
Proteína mamas, g	Ln (mamas) = 8,48 - 7,17 e ^{-1,52*(DurGest+1-29,17)}}	16
EGD (P2), mm	P2 EGD (mm) = 16.76 - 0.7117 x Proteína Corporal Maternal + 0.5732 x Grasa Corporal Maternal	17
Deposición grasa maternal, kg	LD _m = ($\frac{EM_f \cdot K_f}{EN_f}$) / 1000	18
Energía para grasa, EM _f , KJ	EM _f = EM _i - EM _m - EM _c - E _{um}	
Deposición magro maternal, kg	PD _m = (PD _u + P _m + PD _{mat} (T) + PD _{mat} (I)) / 1000	19

* Estas ecuaciones se obtienen de large white, pero se pueden usar en otros genotipos. La ecuación (1) calcula las necesidades en EM_m de la cerda que tiene hasta 235 minutos de actividad física, las necesidades de EM_m por cada minuto extra de actividad física según la ecuación (2). Además, por debajo de la temperatura crítica, la producción de calor cuesta un extra de EM_m de 18 KJkgPV^{-0,75}d⁻¹°C⁻¹ para cerdas alojadas individualmente y 10 KJkgPV^{-0,75}d⁻¹°C⁻¹ para cerdas alojadas en grupo. El PV_{cerda}, es el PV de la cerda (kg). Efecto del estado de gestación (t, días) y número de fetos (n), peso en fresco (g), proteína (g) y contenido en energía (KJ); DurGest: duración de la gestación; EM_i: energía consumida en el pienso; EM_c: energía "conceptus"; EM_{um}: energía úteros y mamas; K_f= 0,8; EN_f= 39,70 MJ/kg.

El cálculo de necesidades de aminoácidos en gestación se calculará mediante la descripción del NRC (2012), primero mediante el cálculo de lisina como la suma de la lisina por pérdidas endógenas, pérdidas de integumento, ganancia maternal, fetos, anejos, útero y mamas:

- Lisina pérdidas endógenas (g) = Consumo de gestación x 0,5053
- Lisina pérdidas de integumento (g) = 0,0045 x PV_{cerda}^{0,75}
- Lisina ganancia maternal (g) = Proteína maternal x 0,0674

- Lisina fetos (g) = Proteína *conceptus* x 0,0499
- Lisina anejos (g) = Proteína *conceptus* x 0,638
- Lisina útero (g) = Proteína útero x 0,0692
- Lisina mamas (g) = Proteína mamas x 0,0655

4.2.2.7.- Ecuaciones del modelo de lactación

En lactación se da prioridad al mantenimiento, ecuación (20), y la producción de leche; las reservas corporales contribuyen al suministro de nutrientes en caso de insuficiente ingesta de alimento para cubrir dichos requerimientos (Dourmad *et al.*, 2008), en la Tabla 4.10 se describen las ecuaciones utilizadas en el módulo de lactación.

Se utilizaron las ecuaciones (21-31) para el cálculo de la producción y composición de la leche durante la lactación, las ecuaciones (28-30) para el cálculo de la composición de la leche y la ecuación (31) para el cálculo del contenido energético de esta leche producida, utilizando la metodología descrita en la publicación de (Hansen *et al.*, 2012), Tabla 4.10. La eficiencia energética de la leche (k_l) utilizada fue la publicada por (Dourmad *et al.*, 2008).

Tabla 4.10. Ecuaciones de utilización la energía y partición de nutrientes en lactación

Item	Ecuación ¹	Nº
Energía mantenimiento (EMm), KJ	$EMm = 460 \text{ KJ PVcerda}^{0,75} \text{d}^{-1}$	20
Producción de leche, kgd^{-1} (Wood)	$Y(t) = at^b \exp(-ct)$ donde: $a = \exp(1/3 \cdot (-Ly_{20} \cdot \log(128/27) - 3 \cdot \log(20) \cdot Ly_{30} + 5 \cdot \log(20) \cdot Ly_{20} - 2 \cdot \log(20) \cdot Ly_5 + 4 \cdot Ly_5 \cdot \log(128/27) + 12 \cdot Ly_{30} \cdot \log(5) - 20 \cdot \log(5) \cdot Ly_{20} + 8 \cdot \log(5) \cdot Ly_5 / \log(128/27))$	21
	$b = - (3 \cdot Ly_{30} - 5 \cdot Ly_{20} + 2 \cdot Ly_5) / \log(128/27)$	22
	$c = 1/15 \cdot (Ly_5 \cdot \log(128/27) - Ly_{20} \cdot \log(128/27) - 3 \cdot \log(20) \cdot Ly_{30} + 5 \cdot \log(20) \cdot Ly_{20} - 2 \cdot \log(20) \cdot Ly_5 + 3 \cdot Ly_{30} \cdot \log(5) - \log(5) \cdot Ly_{20} + 2 \cdot \log(5) \cdot Ly_5) / \log(128/27)$	23
	$Ly_5 = 1,93_{SD=0,03} + 0,07_{SD=0,03}(TC-9,5) + 0,04_{SD=0,09}(GL-2,05) - 0,34_{SD=0,07}I$	24
	$Ly_{20} = 2,23_{SD=0,02} + 0,05_{SD=0,02}(TC-9,5) + 0,23_{SD=0,04}(GL-2,05) - 0,22_{SD=0,04}I$	25
	$Ly_{30} = 2,15_{SD=0,03} + 0,02_{SD=0,03}(TC-9,5) + 0,31_{SD=0,10}(GL-2,05) - 0,05_{SD=0,08}I$	26
Lactosa de la leche, %	$Lactosa = 5,38_{SD=0,08} + 0,01_{SD=0,006}(DL - 15,8)$	27
PB leche, %	$PB = 5,18_{SD=0,06} + 4,43_{SD=0,040}(DL^{-1} - 0,107) + (0,07_{SD=0,02}(PB-15,9))$	28
Grasa de la leche, %	$Grasa = 7,30_{SD=0,25} - 0,065_{SD=0,01}(DL - 13,3)$	29
Energía para leche (EM _l), KJ	$EM_l = (0,389 \cdot \%Grasa + 0,239 \cdot \%Proteína + 0,165 \cdot \%Lactosa) \cdot 100 / \text{km}$	30
Deposición proteína corporal, kg	Si $EM_{\text{pienso}} < 0$; $PD_m = \left(\frac{EM_{\text{pienso}}}{EM_{\text{magro}}} \times \text{DurLact} \right) / 1000$ Si $EM_{\text{pienso}} \geq 0$; $PD_m = \left(\frac{EM_f}{\left(\frac{1}{k_p} + \frac{1}{\text{ratioPL} \times k_f} \right) EN_p} \right) / 1000$	31
Deposición grasa corporal, kg	Si $EM_{\text{pienso}} < 0$; $((EM_{\text{pienso}} - (PD_m \times 1000) \times EN_p) / EN_f)$ Si $EM_{\text{pienso}} \geq 0$; $((PD_m \times 1000) \times EN_p) / (\text{ratioPL} \times EN_f)$	32
Balance energético ingesta de pienso, KJ	$EM_{\text{pienso}} = \frac{EM_f \cdot \text{km}}{K_{mr}}$	33
	$EM_f = EM_i - EM_l - EM_m$	34
Balance energético pérdida de magro, KJ	$EM_{\text{magro}} = \text{DurLact} \times \left(EN_p + \frac{1}{\text{ratioPL}} \times EN_p \right)$	35
		36

¹ y (t) es la producción de leche (kgd^{-1}) en el tiempo (t) después del parto (d). Los parámetros de la ecuación de Wood Ly_5 , Ly_{20} y Ly_{30} representan el logaritmo natural de la producción de leche a los 5, 20 y 30 días de lactación. TC= Tamaño de Camada; GL: Ganancia Lactación; método de determinar la producción de leche (weigh-suckle-weight), I destaca por ser una función indicadora, la cual toma valores de 1 si la expresión es verdad, y si no lo es de 0. Parámetro del modelo, $DL=1$, la eficiencia energética de la leche $K_m=0,72$; la eficiencia de la conversión de energía de tejido corporal a leche $k_{mr}=0,88$; EM_f : Energía para grasa; EM_i : energía consumida en el pienso; DurLact: duración de la lactación; $EN_p=23,8 \text{ MJ/kg}$; $EN_f=39,70 \text{ MJ/kg}$; ratio proteína/grasa $\text{ratioPL}=0,14$; $k_p=0,60$ y $k_f=0,8$.

Para el cálculo de necesidades de aminoácidos en la lactación, también fue primero mediante el cálculo de lisina como la suma de las pérdidas endógenas de lisina por el consumo de pienso, pérdidas tegumentarias, y además de la lisina para la producción de leche:

- Lisina por pérdidas endógenas (g) = Consumo de pienso en lactación x 0,292 x 1,1 x 0,88
- Lisina pérdidas de Integumento (g) = 0,0045 x PV^{0,75}
- Lisina para producción de leche (g) = [(lisina de la leche-lisina movilización proteína corporal) / 0,75] x 1,1197

Siendo:

- Lisina de la leche (g) = (proteína de la leche x 6,38 x 0,0701) / 6,25
- Lisina movilización proteína corporal (g) = (pérdidas de proteína corporal x 0,0674) / 0,868

Las necesidades del resto de aminoácidos se calcularon en función de las de lisina según el concepto de proteína ideal, Tabla 4.11:

Tabla 4.11. Relación de las necesidades de aminoácidos respecto a las necesidades de lisina digestible (proteína ideal)

AA DIS*	GESTACIÓN			LACTACIÓN		
	INRA	NRC	MODELO	INRA	NRC	MODELO
Lisina, %	100	100	100	100	100	100
Metionina, %	28	28	28,0	30	30	30,0
Metionina+Cisteina, %	65	69	70,0	60	53	60,0
Treonina, %	72	76	76,0	66	63	66,0
Triptófano, %	20	20	20,0	19	19	19,0
Valina, %	75	74	75,0	85	85	85,0

* AA DIS: aminoácido digestible ileal estandarizado

Fuente: Francisco Gil Rueda, datos no publicados (comunicación personal).

4.2.2.8.- Métodos estadísticos de los datos observados

Se tabularon los datos de cada cerda de manera individual en una hoja de cálculo Excel (Microsoft, Estados Unidos)). A continuación, con el software de estadística para Excel (Microsoft, Estados Unidos), XLSTAT versión 2016.02.28451 (Addinsoft, Estados Unidos), para caracterizar los cambios fisiológicos de la cerda durante su vida productiva, se realizó un análisis estadístico descriptivo y de varianza de los parámetros de los datos medidos por ciclo (entre el 1 y el 7), tanto en gestación como en lactación, considerando el efecto estadísticamente significativo cuando $p < 0,05$. Igualmente se llevó a cabo el análisis descriptivo de todas estas estimaciones.

4.3.- Diseño del experimento 3: Modelización nutricional de crecimiento de cerdo ibérico (50% duroc) criados en sistema de “Cebo de Campo”.

4.3.1.- Animales

Este estudio se realizó en condiciones de campo en una producción 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 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). Para investigar, por un lado, su modelo de crecimiento y alimentación en sistema “Cebo de Campo” hasta los $352,24 \pm 3,5$ días de edad y $164,35 \pm 17,48$ kg de PV. Y por otro, el efecto que tiene el sexo, el tipo de verraco finalizador (duroc Templario™ (duroc Templario™ (DT) y duroc Templario™ GIM (DTGIM)) y el contenido de aditivos antioxidantes en el pienso de acabado (150 ppm de vitamina E sintética y 150 ppm de vitamina E sintética + 500 ppm de INGASO QTMEAT®), sobre los rendimientos de parámetros zootécnicos, calidad de canal y la carne, en las condiciones de producción de cría en semiextensivo.

La característica diferencial del tipo de verraco duroc utilizado fue su contenido de GIM medida por ultrasonidos (% GIM_US): DT con un 4,26 % (pertenecía a la población fundacional) y DTGIM con un 4,49 % GIM_US (primera generación de verracos seleccionados a partir del programa genético estudiada en esta tesis).

INGASO QTMEAT®, es un suplemento en base a potentes antioxidantes naturales (ácido ascórbico, vitamina E natural, polifenoles naturales y selenio orgánico) para engorde que mejora la calidad técnica y organoléptica de la canal y sus piezas.

Al LOTE A se asignaron lechones de tipo genético descendientes de DT y fueron alimentados con 150 ppm de vitamina E sintética en el pienso de engorde II; al LOTE B, se asignaron lechones de tipo genético descendientes de DTGIM y fueron alimentados con 150 ppm de vitamina E sintética + 500 ppm de INGASO QTMEAT® en su pienso de engorde II.

Ambos lotes se evaluaron en las mismas condiciones de alojamiento, manejo, alimentación y siguieron las mismas pautas de manejo, y protocolos de sacrificio.

La distribución de animales por lotes experimentales para el estudio del crecimiento fue la siguiente:

- LOTE A, 114 machos y 114 hembras y LOTE B, 107 machos y 114 hembras.

La distribución de animales por lotes experimentales para el estudio *post mortem* fue la siguiente:

- Calidad de canal: LOTE A, 55 hembras y 63 machos y LOTE B, 44 hembras y 46 machos.
- Calidad de carne: LOTE A, 23 hembras y 36 machos y LOTE B, 29 hembras y 32 machos.

4.3.2.- Manejo de los cerdos

Tras el destete, ambos lotes se alojaron en corrales de transición con una densidad de 2 m² /cerdo de una granja comercial, La Parrilla (Figura 4.12), con libre acceso a agua y pienso. Una vez finalizada la fase de transición, con 100 días de edad y 35 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. Se trasladaron a la granja la Chimenea (Figura 4.13) para su fase de crecimiento-engorde en semiextensivo para continuar con el estudio. 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 m² /cerdo; b) un espacio cubierto para descansar y protegerse con una superficie disponible de 1 m² /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 (Figura 4.10).

Figura 4.10. Alojamiento de los animales en fase de crecimiento-engorde

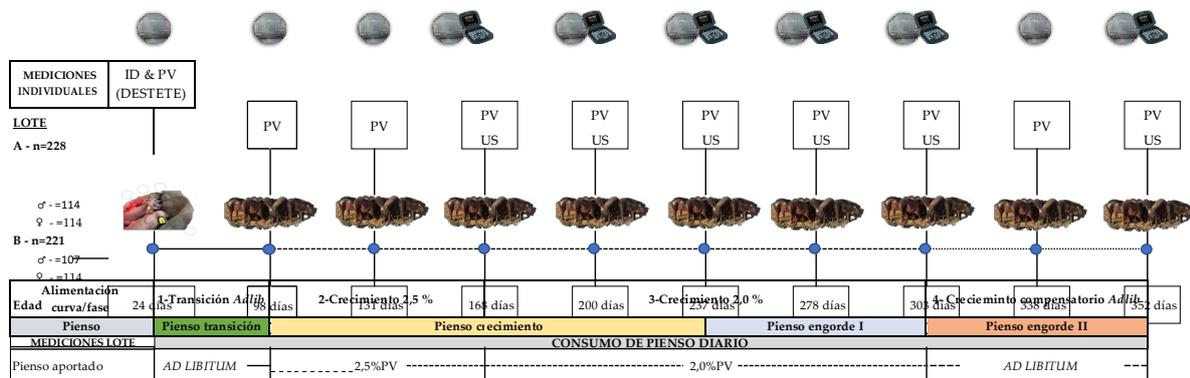


Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.- 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 (≤ 450 g/d), entre los 100 y los 365 días de edad, Figure 4.8: 1) Transición *ad libitum* (transición-crecimiento), “crecimiento potencial”; 2) Crecimiento 2,5 %, con acceso limitado a la cantidad de pienso calculado como el 2,5 % de su PV, “crecimiento lento”; 3) Crecimiento 2,0 %, con acceso limitado a la cantidad de pienso calculado como el 2,0 % de su PV, “crecimiento lento”; 4) Crecimiento compensatorio *ad libitum*, con acceso *ad libitum* al pienso (Figura 4.11). Los piensos utilizados se denominaron: transición, crecimiento, engorde I y engorde II. Estos piensos se basan en la mezcla de dos o tres cereales (trigo, cebada y maíz) y dos o tres tipos de leguminosas u oleaginosas (soja, colza y girasol), y se formularon siguiendo los requerimientos nutricionales recomendados por FEDNA (2013). Las materias primas, la estimación del contenido de los principales nutrientes y la proporción de AG incluidos en los últimos 3 piensos experimentales de crecimiento-acabado aparecen en la Tabla 4.12.

Figura 4.11. Diseño experimental 3. Modelización crecimiento ibérico (50% duroc) “cebo de campo”



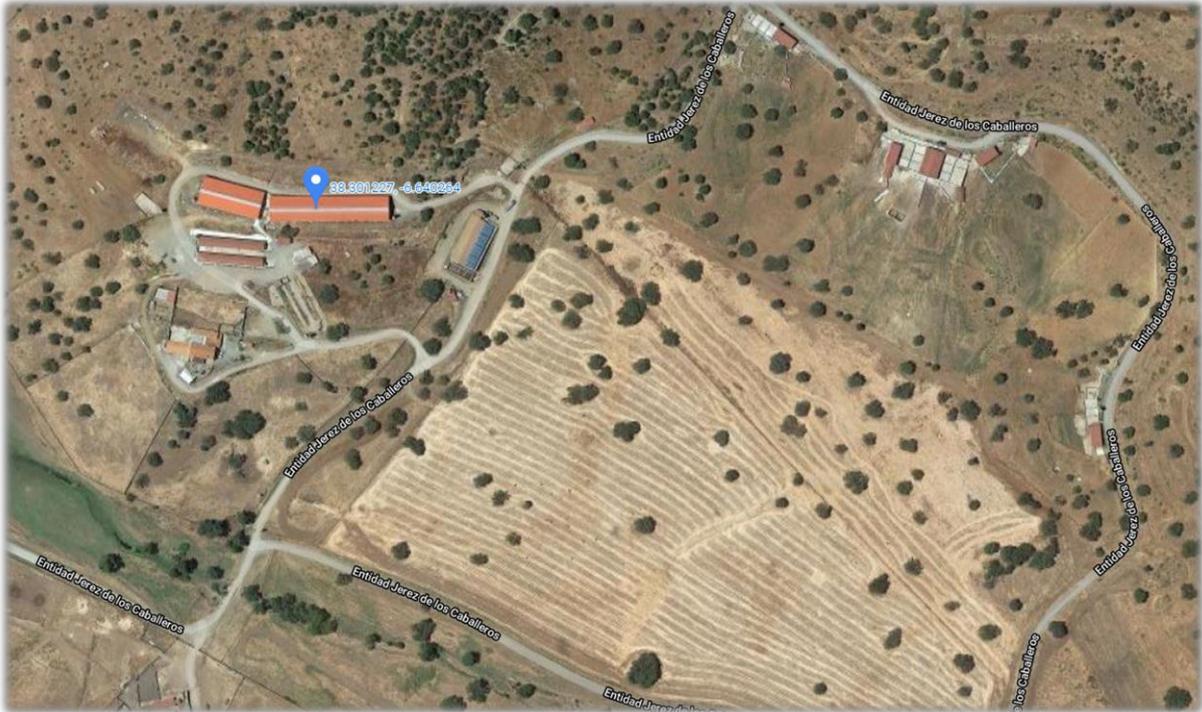
1) Programa de alimentación en transición *ad libitum* (crecimiento-transición), “crecimiento potencial”; 2) Crecimiento 2.5%, aporte de pienso restringido y calculado como el 2,5% del PV (kg) de los cerdos, “crecimiento lento”; 3) Crecimiento 2%, %, aporte de pienso restringido y calculado como el 2,0% del PV (kg) de los cerdos, “crecimiento lento”; 4) Crecimiento compensatorio *ad libitum*, acceso *ad libitum* al pienso, “ crecimiento compensatorio”. Piensos: pienso de transición, pienso de crecimiento, pienso de engorde I, pienso de engorde II. PV: medición individual del PV; US: medición individual de EGD por ultrasonidos. Fuente: [Elaboración propia.](#)

Tabla 4.12. Ingredientes y composición de las dietas durante las fases 2,3 y 4, crecimiento con restricción (pienso de crecimiento y pienso de engorde I), crecimiento *ad libitum* (pienso de engorde II)

Pienso crecimiento		Pienso engorde I		*Pienso engorde II	
Ingredientes	g/kg	Ingredientes	g/kg	Ingredientes	g/kg
Cebada	163,0	Cebada	128,0	Cebada	229,5
Trigo	299,9	Trigo	290,1	Trigo	289,9
Soja-44	167,5	Soja-44	117,0	Soja-44	93,0
Maíz	240,0	Maíz	240,0	Maíz	240,0
Salvado-cuartas	12,0	Salvado-cuartas	50,5	Salvado-cuartas	16,5
Manteca	20,0	Semilla girasol	58,0	Semilla girasol	58,0
Harina Colza	70,0	Aceite girasol Alto Oleico	41,0	Aceite girasol Alto Oleico	44,0
Carbonato Cálcico	9,5	Harina Colza	40,0	Carbonato Cálcico	10,3
Fosfato Cálcico	7,7	Sepiolita	8,0	Fosfato Cálcico	9,2
Sal	4,5	Carbonato Cálcico	10,1	Sal	4,5
Premix	4,0	Fosfato Cálcico	8,0	Premix	4,0
Lisina suplemento	1,8	Sal	4,5	Lisina suplemento	1,0
		Premix	4,0		
		Lisina suplemento	0,9		
Composición Calculada		Composición Calculada		Composición Calculada	
EM, MJ/kg	13,2	EM, MJ/kg	13,8	EM, MJ/kg	14,1
EN, MJ /kg	9,8	EN, MJ /kg	10,5	EN, MJ /kg	10,9
LYS DIS, g/kg	7,6	LYS DIS, g/kg	5,8	LYS DIS, g/kg	4,8
LYS DIS/ EM, g/MJ	0,58	LYS DIS/ EM, g/MJ	0,42	LYS DIS/ EM, g/MJ	0,34
Composición analizada		Composición analizada		Composición analizada	
	g/kg pienso		g/kg pienso		g/kg pienso
MS	883,2	MS	887,8	MS	887,1
PB	160,0	PB	139,9	PB	120,0
Grasa bruta	40,8	Grasa bruta	85,1	Grasa bruta	87,4
C 16:0	7,75	C 16:0	6,21	C 16:0	6,38
C 18:0	2,86	C 18:0	0,24	C 18:0	0,26
C 18:1 n-9	14,69	C 18:1 n-9	60,51	C 18:1 n-9	62,14
C 18:2 n-6	13,06	C 18:2 n-6	13,85	C 18:2 n-6	14,22
C 18:3n-3	0,70	C 18:3n-3	2,21	C 18:3n-3	2,27

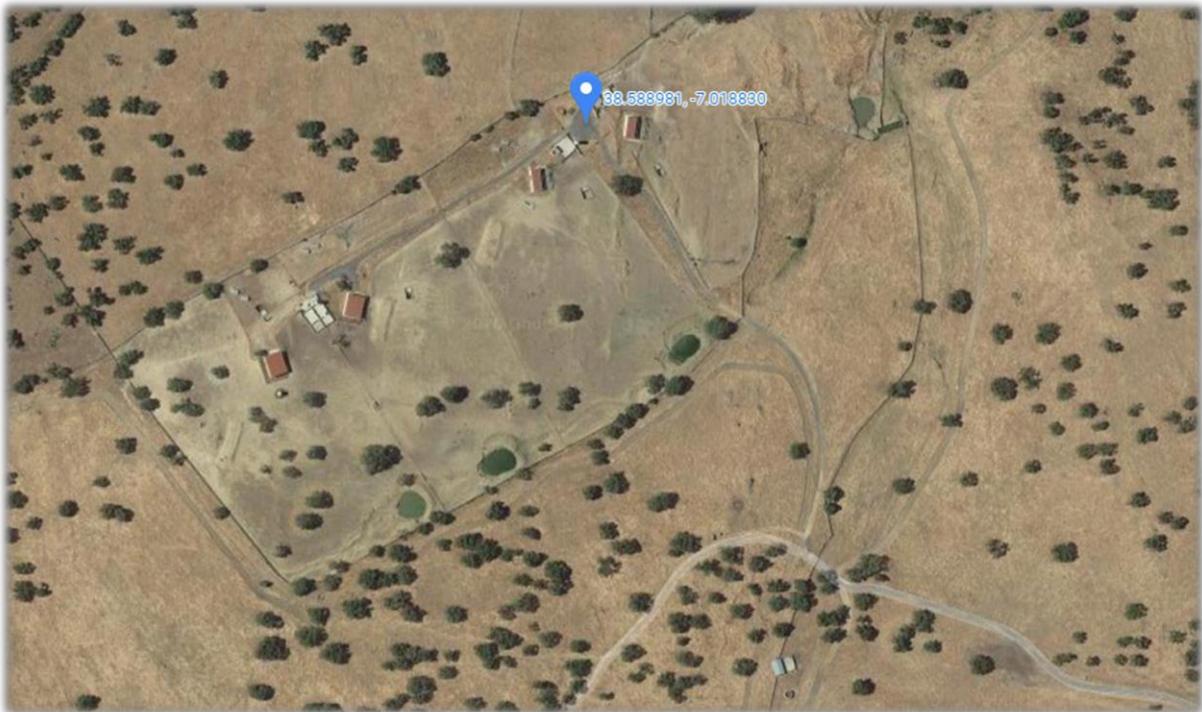
* para el LOTE A se incluyeron 150 ppm de vitamina E sintética y para el LOTE B 150 ppm de vitamina E sintética más 500 ppm de INGASO QTMEAT®.

Figura 4.12. Imagen aérea de Finca La Parrilla



Fuente: Google maps.

Figura 4.13. Imagen aérea de Finca La Chimenea



Fuente: Google maps.

4.3.4.- Parámetros zootécnicos medidos

Como muestra esquemáticamente el protocolo en la Figura 4.11 (Esquema del diseño experimental 3), de recogida datos de parámetros productivos contemporáneos para ambos lotes experimentales. Por un lado, se monitorizó las mediciones repetidas individuales de los cerdos a lo largo del tiempo: PV (kg) medido manualmente, EGD (mm) y PL (mm) medido mediante una sonda lineal de ultrasonidos EXAGO (IMV Imaging, Francia) en la posición P2 (en la última costilla, a 4-6 cm de la línea media dorsal); se calculó la GMD (kg/d) individual. Y, por otro lado, se monitorizó la medición del consumo diario de pienso por lote (CMD; kg/d).

4.3.5.- Parámetros de calidad de canal y carne

Se estableció también un protocolo de recogida de parámetros de atributos de calidad de canal y carne.

a).- Calidad de canal

Los cerdos se sacrificaron con una media de 160 kg PV y 365 días de acuerdo con el procedimiento normal de un matadero comercial. Se midió individualmente: su PV en la granja, el día antes del sacrificio; posteriormente, en el matadero, el peso de canal neto (caliente) (kg) en la báscula de la línea de matanza; y en la sala de despiece en frío, 24 horas *post-mortem*, los pesos de cada jamón entero (kg), paleta entera (kg), y lomo (kg), con báscula gravimétrica. Con esta información, se calcularon los rendimientos de canal (%), de jamón respecto a la canal (%), de paleta respecto a la canal (%) y de lomo respecto a la canal (%).

Figura 4.14. Sección transversal *longissimus dorsi* cerdo ibérico



Fuente: Elaboración propia.

b).- Calidad de carne

Las canales fueron despiezadas en caliente, posteriormente al sacrificio, escaldado, pelado, chamuscado y eviscerado. E individual mente de cada una, se tomó una muestra de carne de la zona craneal del músculo *Longissimus dorsi* de 20 cm y otra de 100 gr de grasa subcutánea a la altura de la cadera:

- a) En la muestra de carne se midió: a) el contenido en humedad en %, mediante secado en estufa a 105 °C durante 20-24 h o hasta peso constante (AOAC, 1997; Método nº. 930.15) (Norma ISO 1442: 1997); b) el de GIM en % sobre MS y sobre materia húmeda, mediante el método Soxhlet con unidad extractora Soxhlet (Soxhlet System HT2 1045 Tecator, Suecia); c) el de proteína también en % sobre la MS y húmeda, calculando el N mediante el método Dumas con un equipo LECO Serie 828; d) el de vitamina E Alfa Tocoferol, en ppm sobre MS con el equipo de cromatografía líquida HPLC Agilent 1100; e) el pH, medido por homogenización con micropeachímetro Crison Basic 20 (Crison Instruments, Barcelona, Spain); f) parámetros de color (L*, A* y B*) con un colorímetro portátil Konica Minolta modelo, CR-400 (Minolta Limited, Milton Keynes, Reino Unido); g) la capacidad de retención de agua (CRA) con el procedimiento de Grau y Hamm (1953), que se basa en someter a la carne a una presión estándar en un intervalo de tiempo conocido, valorando la cantidad de jugo exprimido a partir del incremento de peso del papel; h) el índice TBARs de cada muestra, haciendo la valoración del grado de oxidación lipídica en carne fresca o cocinada, mediante el método descrito por Botsoglou *et al.* (1994).
- b) En la muestra de grasa se midió: el perfil de AG mediante cromatografía de gases utilizando un equipo Hewlett-Packard HP-6890 (Avondale, PA, EE.UU.) equipado con un detector de ionización de llama y una columna capilar HP-Innowax (100 x 0,32 x 0,25 de polietilenglicol) (Lopez Bote *et al.*, 2003).

4.3.6.- Análisis estadísticos

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software a Excel (Microsoft, EE. UU.), XLSTAT versión 2016.02.28451 (Addinsoft, EE. UU.).

Previamente al ajuste del patrón de crecimiento, la colección de datos observados a lo largo del periodo experimental se procesó estadísticamente para mejorar al máximo la precisión de las estimaciones. Por lo que, los datos de rendimiento productivo contemporáneos recogidos de los dos lotes (mediciones individuales de PV, GMD, EGD y por lote de CMD), se procesaron estadísticamente en primer lugar, se realizó una limpieza de 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.

También, se realizó un ANCOVA donde los parámetros de crecimiento y de calidad de canal medidos fueron las variables dependientes (Y). El sexo, el tipo de verraco terminal (duroc Templario™ y duroc Templario™ IMF, LOTE A y B, respectivamente), la interacción sexo y tipo de verraco terminal, y el tratamiento de aditivos antioxidantes incluidos en el pienso de acabado (vitamina E sintética y vitamina E sintética + INGASO QTMEAT®), las variables explicativas. Los resultados se presentan como medias y error estándar de la media (SEM) del conjunto de datos en cada caso. El nivel de significación estadística para todos los análisis fue predeterminado ($P < 0.05$). La estructura del análisis de covarianza fue la siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + (V)_i + S + P_0 + \epsilon_{ij} \quad (\text{Parámetros zootécnicos})$$

$$Y_{ij} = \mu + (V)_i + S + P_{\text{sacrificio}} + \epsilon_{ij} \quad (\text{Parámetros calidad de canal})$$

donde, Y = datos observados para el cerdo j de la variable explicativa i; μ = media general; V = verraco terminal (i = DT, DTGIM); S = sexo; P_0 = covariable: peso inicial de los cerdos para la evolución de pesos instantáneos (P_i), GMD, consumo medio diario (CMD), IC, evolución de EGD_i y evolución de la PL_i; $P_{\text{sacrificio}}$ = covariable: peso al sacrificio para el rendimiento de canal caliente, de jamón, paleta y lomo; ϵ = error residual.

Por último, se realizó un ANOVA donde los parámetros de calidad de carne medidos fueron las variables dependientes (Y). El tratamiento de aditivos antioxidantes incluidos en el pienso de acabado (vitamina E sintética y vitamina E sintética + INGASO QTMEAT®), el sexo, el verraco terminal (duroc Templario™ y duroc Templario™ GIM) y la interacción sexo con tipo de verraco terminal, las variables explicativas.

La estructura del análisis de varianza fue la siguiente:

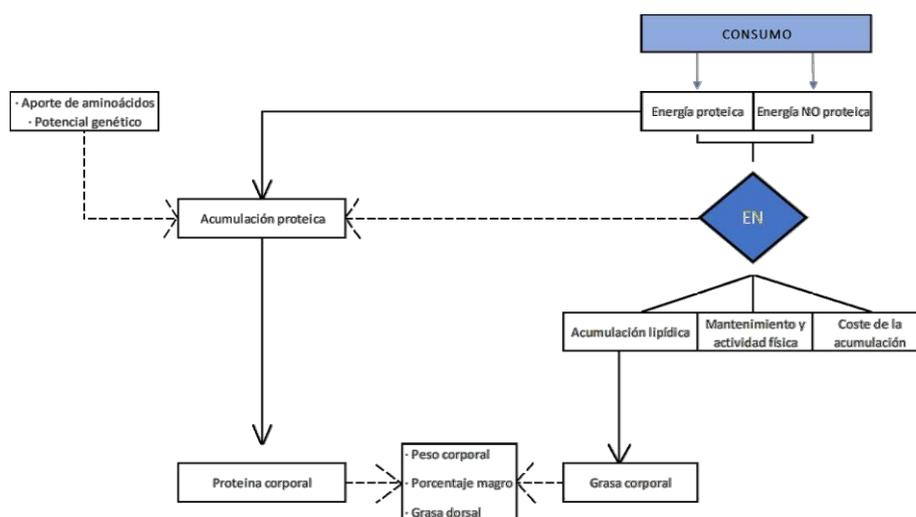
$$Y_{ij} = \mu + (V)_i + S + \epsilon_{ij} \quad (\text{Parámetros calidad de carne})$$

donde, Y = datos observados para el cerdo j del tratamiento i; μ = media poblacional; V = verraco terminal (i = DT, DTGIM); S = sexo; ϵ = error residual.

4.3.7.- Modelo de crecimiento

El modelo utilizado en este estudio se basa en un modelo, mecanicista, determinista y dinámico InraPorc® (van Milgen *et al.*, 2008), que realiza una aproximación factorial de la utilización de los nutrientes tanto, para el crecimiento, LD, y PD, como para cubrir las necesidades de energía de mantenimiento (EN_m), Figura 4.15.

Figura 4.15. Diagrama simplificado del reparto de la energía entre la PD y la LD



Fuente: Modificado de Bastianelli y Sauvant (1997) y van Milgen *et al.* (2008).

a).- Ajuste de la curva de crecimiento

El modelo de crecimiento lento de este estudio fue descrito mediante una curva multifase, debido a un marcado ritmo de crecimiento y consumo de pienso diferencial para cada una de ellas, para evitar el excesivo engrasamiento precoz de los animales, Gráfico 5.17.

El ajuste matemático de la curva de crecimiento en función de las observaciones requirió de una ecuación por fase: una para el ajuste de la primera fase, en condiciones de alimentación ad libitum, donde los animales expresan su ritmo de "crecimiento potencial", y otras tres para las posteriores, en condiciones de alimentación restringida y compensatoria, donde los animales expresan un ritmo de "crecimiento diferencial", "crecimiento lento y compensatorio". El "crecimiento potencial" fue descrito mediante la ecuación de Gompertz (ecuación 1, Tabla 4.13) que calcula la evolución del peso vivo instantáneo (PVi) en función de la edad. La restricción alimentaria distorsiona el cálculo del crecimiento utilizando la ecuación de Gompertz, por lo que, el "crecimiento diferencial", se describió tanto para las fases de crecimiento "lenta" como la "compensatoria" mediante la ecuación Gil, 2019 (ecuación 3, Tabla 4.13), que calcula la evolución del (PVi), a partir del peso vivo instantáneo del día anterior (PVi-1) más una ganancia de peso potencial correspondiente a PVi-1 (GMDi) multiplicada por el coeficiente del

cambio de la tasa de crecimiento (F,%), el cual se ajustó junto con el resto de parámetros de la ecuación.

La curva de crecimiento diferencial se describió en 4 fases diferentes mediante una ecuación distinta para cada una de ellas (ecuaciones 1, 3.1, 3.2 y 3.3 (Tabla 4.13)), como evolución del PV en el tiempo en función de la cantidad de pienso aportado (Gráfico 5.17). Para la fase 1, se ajustó la curva de "crecimiento potencial" mediante la ecuación de Gompertz para calcular el PV_i en función de la edad:

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

donde, PV_m : PV a la madurez; k: precocidad; EDADPI: edad de máxima ganancia de peso.

Para las fases 2 y 3, se ajustaron las curvas de "crecimiento lento" utilizando las ecuaciones de Gil, 2019 (comunicación personal) para calcular el PV_i basado en el peso corporal del día anterior (PV_{i-1}) más la tasa de crecimiento diario restringido:

$$PV_i = PV_{i-1} + GMD_i * (1 + F2) \text{ ecuación 3.1 (Fase 2)}$$

$$PV_i = PV_{i-1} + GMD_i * (1 + F3) \text{ ecuación 3.2 (Fase 3)}$$

Por último, para la fase 4 se ajustó la curva de "crecimiento compensatorio" utilizando la ecuación de Gil, 2019 (comunicación personal) para calcular el PV_i basado en el peso corporal del día anterior (PV_{i-1}) más la tasa de crecimiento diario compensatorio:

$$PV_i = PV_{i-1} + GMD_i * (1 + F4) \text{ ecuación 3.3 (Fase 4)}$$

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

$$GMD_i = -k * PV_{i-1} * LN \frac{PV_{i-1}}{PV_m} \text{ ecuación 2}$$

y, F2 y F3 son los coeficientes de la tasa de crecimiento diario restringido, y F4 es el coeficiente de la tasa de crecimiento diario compensatorio.

b).- Ajuste de la curva de consumo

La evolución del consumo diario de pienso a lo largo del tiempo se estimó: primero para las fases de alimentación *ad libitum* (1 y 4) con la ecuación paramétrica de consumo de EM (kcal/d) (NRC, 2012), (Tabla 4.13):

$$EM_i = A * \{1 - e^{-e^{(-b)*PV_i^c}}\} \text{ (ecuación 4)}$$

que es función del PV_i para un "potencial de crecimiento", dividido por la concentración de EM de cada pienso; y segundo para las fases de alimentación de restricción (2 y 3) mediante una optimización económica, una vez calculadas las curvas de crecimiento y de consumo de pienso *ad libitum*, que se explica en detalle en el siguiente apartado de optimización del modelo.

c).- Determinación de la utilización de los nutrientes

A partir del ajuste de la curva de crecimiento y consumo de pienso, el modelo también permitió calcular la partición de la energía consumida al día para su uso en diferentes funciones como: necesidades energéticas de mantenimiento (EN_m), PD y LD a lo largo del crecimiento (van Milgen *et al.*, 2008). El consumo de EN (MJ/d) se calculó con las estimaciones de CMD (kg/d) y la concentración de energía de cada pienso (Tabla 4.13). La EN (MJ/d) consumida cubrió las diferentes funciones de mantenimiento, actividad física y PD, el resto de esta energía será invertida en la LD (ecuación 4, Tabla 4.13). Las tasas de PD y la LD se calcularon como dos compartimentos de masa de proteína (P, g) y lípidos (L,g) del peso vivo vacío del animal PV_v . Para el cálculo PV_v a lo largo del tiempo, se utilizó su relación empírica obtenida del reanálisis de los datos de (Quiniou y Noblet, 1995) (ecuación 6):

$$PV_v \text{ (kg)} = 5.969 \times P^{0.944} + 0.854 \times L^{0.944} \text{ (Quiniou y Noblet, 1995)}$$

Para el cálculo de la P, se consideró un 15 % de contenido de proteína por cada kg de PV_v (ProtPv) Nieto *et al* (2002) y Barea *et al.* (2003). Para calcular las necesidades energéticas para la P, se consideró que se necesitan 17,61 MJ de EMP para cada kg de P, y su eficiencia energética, k_p de 0,540 (Tess *et al.*, 1984b). Y para calcular la energía necesaria para L, se determinó la diferencia de EN (MJ) consumida al día, y la EN_m (MJ / d), más EN_p (MJ / d). Considerando la energía que se necesitan 29,38 MJ para cada kg de L, con una eficiencia de LD, k_f de 0,760 (Tess *et al.*, 1984b), se pudo calcular los kg de L en el tiempo.

Tabla 4.13. Ecuaciones del modelo de crecimiento diferencial, ibérico “Cebo de Campo”

Item	Ecuación
Crecimiento potencial	
Fase 1	$PV_i = PV_m^* e^{-e^{-k*(EDAD_i - EDADPI)}} \quad (1)$
Derivada de la ecuación de (1)	$GMD_i = -k * PV_{i-1} - 1 * LN \frac{PV_{i-1}}{PV_m} \quad (2)$
Modelo de crecimiento diferencial	$PV_i = PV_{i-1} + GMD_i * (1 + Fn) \quad (3)$
Fase 2	$PV_i = PV_{i-1} + GMD_i * (1 + F2) \quad (3.1)$
Fase 3	$PV_i = PV_{i-1} + GMD_i * (1 + F3) \quad (3.2)$
Fase 4	$PV_i = PV_{i-1} + GMD_i * (1 + F4) \quad (3.3)$
Uso de la energía metabolizable (EM)	$EM = EM_m + PD/k_p + LD/k_f \quad (4)$
EM de mantenimiento, KJ/d	$ENm = 728 * PV^{0,60} \quad (5)$
PVv, kg	$PVv = e^{(\frac{LN(PV)}{0,986} + LN(0,89))} \quad (6)$
Contenido proteico (kg)/PVv (kg), %	$ProtPVv = 15 \quad (7)$
EM por kg de proteína retenida, MJ/kg	$EM_p = 17,61$
EM por kg de grasa retenida, MJ/kg	$EM_f = 29,38$
Eficiencia de uso de EM para PD	$K_p = 0,540$
Eficiencia de uso de EM para LD	$K_f = 0,760$
Consumo de EM estimado, kcal/d	$EM_i = A * \{1 - e^{-e^{(-b)*PV_i^c}}\} \quad (8)$
Suma de diferencia de cuadrados	$y = \sum(x - y)^2 \quad (9)$

1. Ecuación del modelo de “crecimiento potencial”. Parámetros: PVm = peso vivo a la madurez (kg); k = precocidad; EDADPI = edad a la máxima ganancia (d). Ecuación de Gompertz (1825).
2. Ecuación de la GMD, calculada de la primera derivada de la ecuación de Gompertz (1) transformada como una ecuación de EDAD (PV). Ecuación de Martínez et al. (2010).
3. Ecuaciones del modelo de “crecimiento diferencial”. Ecuación Francisco Gil (2019). Comunicación personal.
4. 3.1: F2, caída de la tasa de crecimiento. Calculado por optimización del modelo.
5. 3.2: F3, caída de la tasa de crecimiento. Calculado por optimización del modelo.
6. 3.3: F4, subida de la tasa de crecimiento. Calculado por optimización del modelo.
7. EM: Utilización de energía de mantenimiento. (J. Kielanowski, 1965).
8. EMm, energía de mantenimiento (kj/d) publicada por (Noblet et al., 1999)
9. PVv, peso vivo vacío, (Quiniou y Noblet, 1995).
10. ProtPv, contenido proteico por cada kg PVv, %, Nieto et al (2002) y Barea et al. (2003).
11. Consumo de EM, kcal/d (NRC, 2012).
12. EMp y EMf, energía utilizada para acumular un kg de proteína y grasa, respectivamente. (Tess et al., 1984b).
13. Kp y kf, eficiencia de utilización de energía para PD y LD, (Tess et al., 1984b).

4.3.8.- Optimización del modelo

El ajuste del modelo desarrollado por Francisco Gil Rueda (comunicación personal) se realizó utilizando Excel (Microsoft, USA), para describir un proceso biológico por optimización matemática multifase de los parámetros medios productivos observados. El patrón se construyó utilizando las ecuaciones de determinación del crecimiento y consumo de pienso, anteriormente explicadas, y calculando sus parámetros que hacen el ajuste óptimo con respecto a los datos productivos observados, se basó en el ajuste de la curva de crecimiento, por lo tanto, el primer ajuste que se realizó fue estimar los parámetros de la curva de crecimiento, mediante el cálculo del mínimo de la suma de diferencia de cuadrados entre los valores de PV_i predichos por las ecuaciones de crecimiento y los valores observados. Una vez obtenida la curva de crecimiento óptima, se realizó un segundo ajuste para calcular la curva de consumo de pienso en condiciones ad libitum (Fases 1 y 4), estimando los parámetros de la ecuación de consumo de EM (ecuación 8, Tabla 4.13) en función del PV_i predicho, que ajustan un IC del pienso óptimo durante todo el crecimiento y engorde. Por último, una tercera optimización económica global estimó la curva de consumo de pienso en condiciones de restricción (Fases 2 y 3), estimando los kilogramos de pienso instantáneo aportado como porcentaje del kg de PV_i del cerdo y los niveles óptimos de EM (kcal) por kilogramo de pienso para obtener un mínimo IC del pienso y de coste de este por kg de PV producido en el sacrificio.

5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1.- Resultado y discusión del experimento 1:

Desarrollo del programa de mejora genética y caracterización de la población.

5.1.1.- Índice de selección

La fórmula utilizada para el cálculo del índice de selección de cerdo ibérico Templario™ (IBT). fue la descrita en el material y métodos de este capítulo:

$$H_{ib} = a_{ib}^t \cdot \Gamma_{ib} \cdot C_{ib}^{-1} \cdot P_{ib}$$

Donde la matriz de covarianzas entre los valores genéticos y variables explicativas, Γ_{IBT} , fue:

$$\Gamma_{ib} = \begin{pmatrix} 0,258 & 0,068 & 0,000 & 0,008 & 0,042 & 0,000 & 0,000 \\ 0,068 & 0,169 & 0,006 & 0,005 & 0,038 & 0,001 & 0,001 \\ 0,000 & 0,013 & 0,134 & 0,000 & 0,000 & -0,002 & -0,001 \\ 0,016 & 0,010 & 0,000 & 0,081 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,084 & 0,075 & 0,000 & 0,000 & 0,163 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,001 & -0,002 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,001 & -0,001 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{pmatrix}$$

La matriz de varianzas y covarianzas entre las variables explicativas, C_{IBT} :

$$C_{ib} = \begin{pmatrix} 0,517 & 2,121 & 0,000 & 0,008 & 0,042 & 0,000 & 0,000 \\ 0,137 & 0,169 & 0,006 & 0,005 & 0,038 & 0,001 & 0,001 \\ 0,000 & 0,006 & 0,462 & 0,000 & 0,000 & -0,007 & -0,003 \\ 0,008 & 0,005 & 0,000 & 0,246 & 0,000 & 0,002 & 0,000 \\ 0,042 & 0,038 & 0,000 & 0,000 & 0,466 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,001 & -0,007 & 0,002 & 0,000 & 0,001 & 0,000 \\ 0,000 & 0,001 & -0,003 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,001 \end{pmatrix}$$

La inversa de estas dos matrices:

$$C^{-1}_{ib} = \begin{pmatrix} -0,839 & 10,724 & -0,263 & -0,150 & -0,789 & -5,430 & -4,733 \\ 0,675 & -2,596 & 0,064 & 0,020 & 0,148 & 1,340 & 1,142 \\ -0,017 & 0,072 & 2,389 & -0,096 & -0,004 & 13,321 & 3,042 \\ 0,017 & -0,318 & -0,087 & 4,116 & 0,024 & -6,323 & 1,071 \\ 0,021 & -0,759 & -0,019 & 0,012 & 2,203 & 0,382 & 0,335 \\ -0,384 & 1,874 & 13,312 & -6,501 & -0,117 & 907,936 & -131,331 \\ -0,292 & 1,066 & 3,029 & 0,923 & -0,060 & -131,057 & 801,149 \end{pmatrix}$$

Realizando las operaciones oportunas:

$$a^t \cdot \Gamma^t \cdot C^{-1} = \begin{bmatrix} -0,96 & 60,57 & 50,11 & -16,88 & 1,11 & 80,45 & 2,60 \end{bmatrix}$$

Y quedando por tanto la fórmula final del índice sintético de selección como sigue:

$$I_{ib} = -0,96LNV + 60,57LD + 50,11\%GIM - 16,88Pcaña + 1,11NTetas - 80,45\%Magro + 2,60GMD$$

Este índice agrupa 7 caracteres de interés en la estimación del valor genético económico de la línea de ibérico objeto de estudio.

La razón principal del uso de un índice de selección radica en el hecho de que se trata de sólo una granja núcleo fundacional sin relaciones de parentesco preestablecidas y sin la presencia de otras explotaciones de ibérico de la misma línea entre las que pudiéramos establecer una conexión mediante machos de referencia. Esto no quiere decir que a la vuelta de varios años y la posibilidad de implantar un sistema que englobe varias granjas interconectadas, así como la posibilidad de contar con una matriz de parentesco lo suficientemente sólida nos permitirá pasar del modelo índice de selección al modelo BLUP (Best linear unbiased prediction), como modelo principal de estimación de valores genéticos vía cuantitativa.

Finalmente, la incorporación de información molecular futura relativa a SNP's compatibles con la expresión de caracteres de interés (% GIM, prolificidad, ...) hará, sin lugar a duda, enriquecer la precisión y el progreso genético de este programa de selección Templario™.

Hoy día, carecemos de referencias bibliográficas sobre índices de selección en cerdo ibérico de estas características, ya que apenas se ha realizado selección genética propiamente dicha en este subsector hasta la fecha. Siendo la información más amplia la que aparece en el metaanálisis de los resultados productivos de las fases de crecimiento y cebo del cerdo ibérico (Sánchez Esquiliche, F. 2011), y la publicación, la selección genética aplicada al porcino ibérico (Iniesta Gallego, G.), donde se hace mención del programa de selección de iniciativa privada de Ingafood para la mejora de su población de

cerdo ibérico. Por último, la Asociación Española de Criadores de Cerdo Ibérico (Aeceriber) mantiene un programa de selección oficial desarrollado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), incluido en su programa de cría en el Ministerio, agrupando el programa en tres etapas: índice materno, índice de lechón e índice de ciclo completo, y cuyo esquema aparece en su página web.

En definitiva, la novedad de nuestro programa de selección radica en la presencia de dos líneas genéticas: ibérico y duroc, con el objetivo final de poner de manifiesto la heterosis que se produce mediante el cruzamiento de macho duroc por hembra ibérica para la producción de ibérico cruzado destinado a “Cebo de Campo” y Bellota.

Por otro lado, el resultado del cálculo de la precisión, entre el valor genético-económico real y el estimado, fue el siguiente:

$$r_{Hib} = \sqrt{\frac{a^t \Gamma C^{-1} \Gamma^t a}{a^t V a}} \quad \text{Ecuación 4.}$$

V_{IBT} , es la matriz de varianzas y covarianzas entre los valores genéticos aditivos, y su resultado fue:

$$V_{ib} = \begin{pmatrix} 0,517 & 0,137 & 0,000 & 0,016 & 0,084 & 0,000 & 0,000 \\ 0,137 & 0,339 & 0,013 & 0,010 & 0,075 & 0,001 & 0,001 \\ 0,000 & 0,013 & 0,134 & 0,000 & 0,000 & -0,002 & -0,001 \\ 0,016 & 0,010 & 0,000 & 0,081 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,084 & 0,075 & 0,000 & 0,000 & 0,163 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,001 & -0,002 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 0,001 & -0,001 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,000 \end{pmatrix}$$

Y prosiguiendo, si ya teníamos del índice:

$$a^t \cdot \Gamma^t \cdot C^{-1} = \begin{bmatrix} -0,96 & 60,57 & 50,11 & -16,88 & 1,11 & 80,45 & 2,60 \end{bmatrix} \quad Y$$

$$a^t \cdot \Gamma^t \cdot C^{-1} \cdot \Gamma = \begin{bmatrix} 4,12 & 11,76 & 7,06 & -0,94 & 3,22 & -0,01 & 0,02 \end{bmatrix}$$

155

$$a^t \cdot \Gamma^t \cdot C^{-1} \cdot \Gamma \cdot a = 1700,466$$

mientras que:

$$a^t \cdot V = \begin{bmatrix} 15,887 & 15,107 & 23,156 & -3,377 & 4,857 & -0,238 & -0,070 \end{bmatrix}$$

$$a^t \cdot V \cdot a = 4942,93$$

El resultado del coeficiente de determinación fue:

$$r^2(Hib) = \frac{1700,466}{4942,93} = 0,344$$

y, por último, la precisión de la estimación resultante fue:

$$r(Hib) = \sqrt[2]{0,344} = 0,59$$

La precisión obtenida con este índice es bastante considerable, habida cuenta que, los índices que incorporan un importante número de caracteres suelen perder precisión de forma significativa. La razón principal para alcanzar estos valores es que la mayoría de los caracteres considerados han sido medidos en el individuo, y solamente la prolificidad, con una h^2 baja se aportó el rendimiento fenotípico de la madre de los candidatos. Más adelante, hemos previsto enriquecer el índice de selección en los caracteres reproductivos, incorporando a nivel de hembras, los rendimientos fenotípicos individuales de lechones nacidos vivos, lechones destetados, coeficiente de variación del peso al nacimiento y rendimiento lechero. Este nuevo índice de 11 caracteres sacrifica parte del intervalo de generación, a costa de incrementar la precisión. Esta estrategia se ha considerado debido al hecho, de que en el núcleo de selección se llevan a cabo los primeros partos, y sólo enviadas reproductoras al resto de la pirámide de producción una vez cubiertas de segundo ciclo. De todas formas, esta iniciativa formará parte de trabajos posteriores al desarrollo de esta tesis doctoral. No tenemos constancia de antecedentes bibliográficos en cerdo ibérico que recojan la estrategia establecida de flujo genético.

5.1.2.- Evolución del índice de selección a lo largo del tiempo

a).- Ibérico:

El índice de selección se utilizó para evaluar el mérito genético-económico de los candidatos a reproductores de manera individual, en base al valor genético aditivo y su peso económico de cada carácter incluido en el índice. En la Tabla 5.1 se recogen los valores medios del resultado del índice de selección de las cerdas ibéricas seleccionadas como futuras reproductores después del testaje.

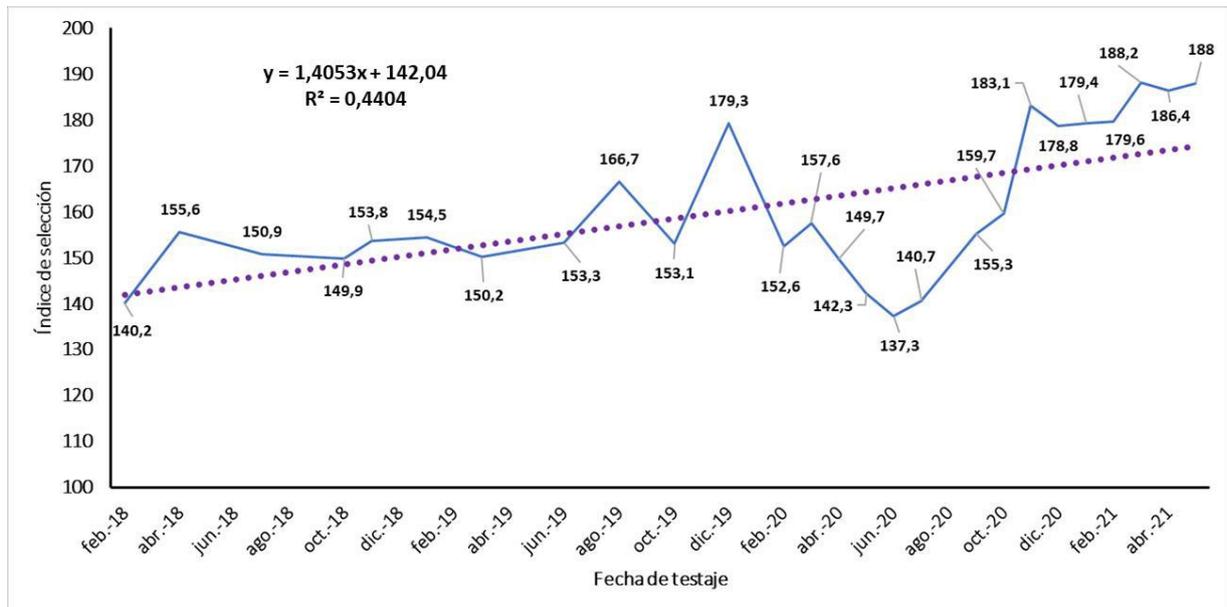
El Gráfico 5.1, representa la evolución en el tiempo, desde febrero de 2018 hasta mayo de 2021, del promedio del índice de selección que obtuvieron las hembras ibéricas puras evaluadas.

Anualmente se corregía el valor medio del índice para que anualmente la media de los animales evaluados girara en torno a cien.

Tabla 5.1. Estadísticos descriptivos del índice de selección de hembras seleccionadas como futuras reproductoras ibéricas TemplarioTM

Fecha Testaje	N	Mín.	Máx.	Media
2018				
Feb	51	100,0	211,8	140,2
Abr	90	129,0	219,5	155,6
Jul	42	133,3	192,4	150,9
Oct	77	130,4	182,4	149,9
Nov	73	130,5	189,6	153,8
2019				
Ene	71	131,2	209,6	154,5
Mar	48	130,8	193,9	150,2
Jun	51	130,5	215,1	153,3
Ago	53	150,6	200,4	166,7
Oct	37	133,2	190,9	153,1
Dic	55	160,6	223,1	179,3
2020				
Feb	72	130,2	207,0	152,6
Mar	78	130,1	213,3	157,6
Abr	36	130,7	196,0	149,7
May	95	130,0	175,5	142,3
Jun	43	130,2	162,6	137,3
Jul	68	130,1	169,1	140,7
Sep	72	140,1	178,8	155,3
Oct	60	141,4	191,1	159,7
Nov	123	165,5	228,6	183,1
Dic	64	159,7	206,1	178,8
2021				
Ene	56	162,3	206,6	179,4
Feb	37	161,8	206,3	179,6
Mar	61	172,1	225,9	188,2
Abr	55	171,4	222,5	186,4
May	53	173,1	220,2	188,0

Gráfico 5.1. Evolución del promedio del índice de selección de hembras seleccionadas como futuras reproductoras ibéricas Templario™



La tendencia del índice de selección va desde 142,04 puntos al inicio del estudio hasta los 178,58.

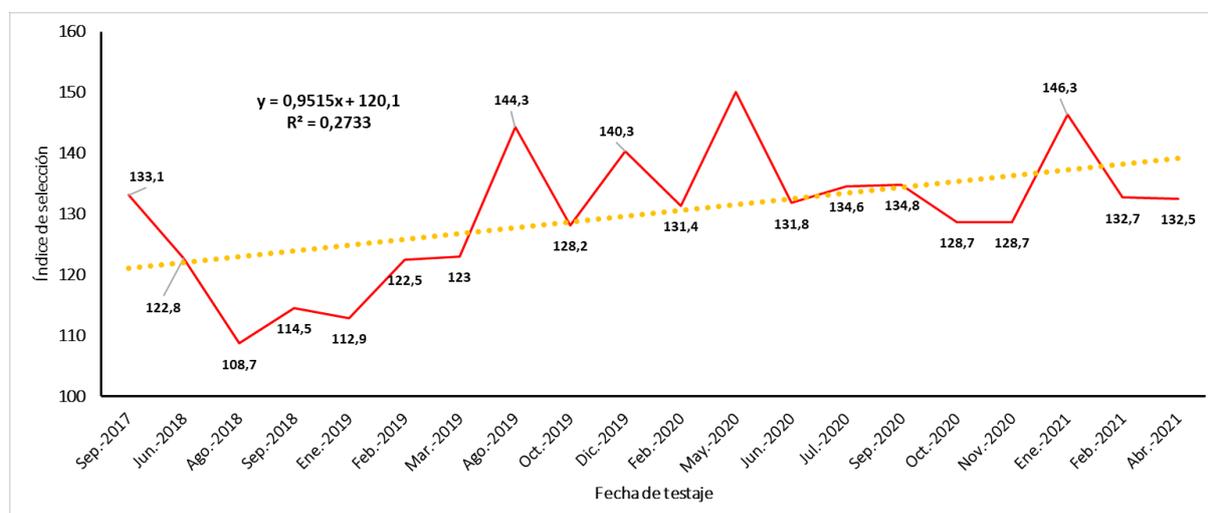
b).- Duroc

El índice de selección se utilizó para evaluar el mérito genético-económico de los candidatos a reproductores de manera individual, en base del valor genético aditivo y su peso económico de cada parámetro de interés en el objetivo de selección de la población de cerdos duroc puros del estudio. En la Tabla 5.2 se recogen los valores medios del resultado del índice de selección de las cerdas duroc seleccionadas como futuras reproductores después del testaje. Y el Gráfico 5.2, representa la evolución en el tiempo, desde enero de 2018 hasta abril de 2021, del promedio del índice de selección que obtuvieron las hembras duroc puras evaluadas y seleccionadas por un mínimo de 50 de índice de selección.

Tabla 5.2. Estadísticos descriptivos del índice de selección de hembras seleccionadas como futuras reproductoras duroc Templario TM

Estadístico	N	Mín.	Máx.	Media
2017				
Sep	10	119,9	151,8	133,1
2018				
Jun	6	109,7	144,5	122,8
Ago	1	108,7	108,7	108,7
Sep	12	104,0	129,8	114,5
2019				
Ene	38	100,3	135,9	112,9
Feb	11	99,8	143,0	122,5
Mar	12	112,1	142,6	123,0
Ago	10	125,1	164,2	144,3
Oct	13	121,2	141,3	128,2
Dic	13	130,1	175,5	140,3
2020				
Feb	15	122,0	143,6	131,4
May	14	141,1	163,3	150,1
Jun	12	120,4	151,3	131,8
Jul	17	103,3	189,2	134,6
Sep	5	120,9	148,5	134,8
Oct	7	121,1	133,7	128,7
Nov	2	125,9	131,4	128,7
2021				
Ene	15	127,7	167,3	146,3
Feb	10	117,4	158,3	132,7
Abr	12	120,3	156,6	132,5

Gráfico 5.2. Evolución del promedio del índice de selección de hembras seleccionadas como futuras reproductoras duroc Templario TM



La tendencia del índice de selección va desde 120,1 puntos al inicio del estudio hasta los 138,40.

Observando las gráficas correspondientes a los índices de selección estimados en las poblaciones de ibérico y duroc (hembras) a lo largo del periodo objeto de estudio, se ponen de manifiesto dos circunstancias fundamentales que determinan que la tendencia de mejora de dicho índice sea más acusada en la población de ibéricos que en la de duroc.

Estas dos circunstancias son:

1. La mayor variabilidad fenotípica de los diferentes caracteres incluidos en el índice, particularmente el % GIM que representa el carácter con mayor peso dentro del objetivo de selección.
2. El tamaño de las poblaciones sometidas al programa de selección genética, contando en este trabajo con una población superior a 350 reproductoras ibéricas y entre 50-60 duroc.

5.1.3.- Mejora fenotípica del % GIM durante el periodo de estudio

a).- Ibérico:

La Tabla 5.3 recoge el incremento de mejora de índice de selección y % GIM. Los criterios de selección de los futuros reproductores fueron un mínimo de 100 de índice de selección y 4,1 % de GIM. Se aplicó en cada testaje una intensidad de selección y una diferencia de mejora representada también en la tabla 5.3. Mientras que el Gráfico 5.3 representa como regresión lineal, la evolución de los resultados medios de % GIM de cerdas testadas y las seleccionadas como futuras reproductoras.

Tabla 5.3. Intensidad de selección de hembras ibéricas Templario™ testadas en el tiempo

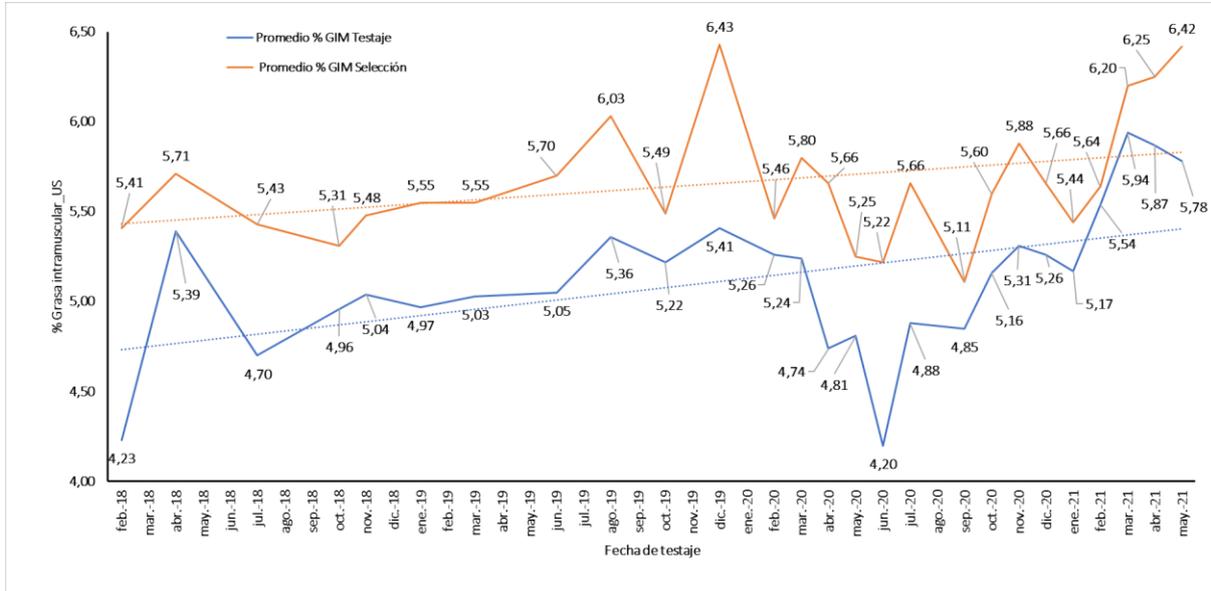
Fecha	N Todo	N Selección	% Selección	i	Índice de selección			% GIM_US			
					Media todo	Media selección	Δ mejora	Media todo	Media selección	Δ mejora	
2018											
Feb	114	51	44,74	0,90	112,1	140,2	28,1	4,23	5,41	1,18	
Abr	103	90	87,38	0,24	151,6	155,6	4,00	5,39	5,71	0,32	
Jul	85	42	49,41	0,81	99,8	150,9	51,1	4,70	5,43	0,73	
Oct	110	77	70,00	0,50	110,3	149,9	39,6	4,96	5,31	0,35	
Nov	102	73	71,57	0,48	112,0	153,8	41,8	5,04	5,48	0,44	
2019											
Ene	92	71	77,17	0,40	108,2	154,5	46,3	4,97	5,55	0,58	
Mar	77	48	62,34	0,61	106,2	150,2	44,0	5,03	5,55	0,52	
Jun	97	51	52,58	0,77	105,2	153,3	48,1	5,05	5,70	0,65	
Ago	105	53	50,48	0,80	119,2	166,7	47,5	5,36	6,03	0,67	
Oct	49	37	75,51	0,42	116,1	153,1	37,0	5,22	5,49	0,27	
Dic	71	55	77,46	0,39	121,7	179,3	57,6	5,41	6,43	1,02	
2020											
Feb	83	72	86,75	0,26	129,7	152,6	22,9	5,26	5,46	0,20	
Mar	115	78	67,83	0,54	117,2	157,6	40,4	5,24	5,80	0,56	
Abr	178	36	20,22	1,40	109,9	149,7	39,8	4,74	5,66	0,92	
May	80	54	67,50	0,54	106,1	142,3	36,2	4,81	5,25	0,44	
Jun	286	43	15,03	1,55	97,8	137,3	39,5	4,20	5,22	1,02	
Jul	353	68	19,26	1,42	123,3	140,7	17,4	4,88	5,66	0,78	
Sep	176	72	40,91	0,97	120,8	155,3	34,5	4,85	5,11	0,26	
Oct	80	60	75,00	0,42	123,0	159,7	36,7	5,16	5,60	0,44	
Nov	177	123	69,49	0,51	123,3	183,1	59,8	5,31	5,88	0,57	
Dic	81	64	79,01	0,36	123,3	178,8	55,5	5,26	5,66	0,40	
2021											
Ene	66	56	84,85	0,29	124,8	179,4	54,6	5,17	5,44	0,27	
Feb	39	37	94,87	0,20	127,9	179,6	51,7	5,54	5,64	0,10	
Mar	157	61	38,85	1,00	133,3	188,2	54,9	5,94	6,20	0,26	
Abr	71	55	77,46	0,72	129,8	186,4	56,6	5,87	6,25	0,38	
May	88	53	60,23	0,75	127,8	188,0	60,2	5,78	6,42	0,64	

*i: Intensidad de selección (Falconer y Mackay, 1996).

A nivel de población obtuvimos un incremento del % GIM de 0,48 % anual, lo que implica una mejora fenotípica del 1,55 % de GIM en el periodo objeto de estudio, (Schwab *et al.*, 2010) estima una respuesta positiva en el contenido de GIM medido por ultrasonidos para una población de línea duroc de 1,2 % en

6 generaciones. Este valor dista mucho de lo conseguido en nuestra línea de ibérico, probablemente debido a la alta variabilidad de la población fundacional, y al carácter adipogénico típico de esta raza.

Gráfico 5.3. Tendencia fenotípica % GIM en la población testada y en la población seleccionada como futuras reproductoras. Hembras ibéricas



b).- Duroc

La Tabla 5.4 recoge la evolución en el tiempo de los resultados medios del porcentaje de selección, el incremento de mejora de índice de selección y de % GIM. Los criterios de selección de los futuros reproductores fueron un mínimo de 100 de índice de selección y 4,1% de GIM. Se aplicó en cada testaje una intensidad de selección y una diferencia de mejora representada en la tabla 5.4. Mientras que el Gráfico 5.4 representa como regresión lineal, la evolución de los resultados medios de % GIM de cerdas testadas y las seleccionadas como futuras reproductoras.

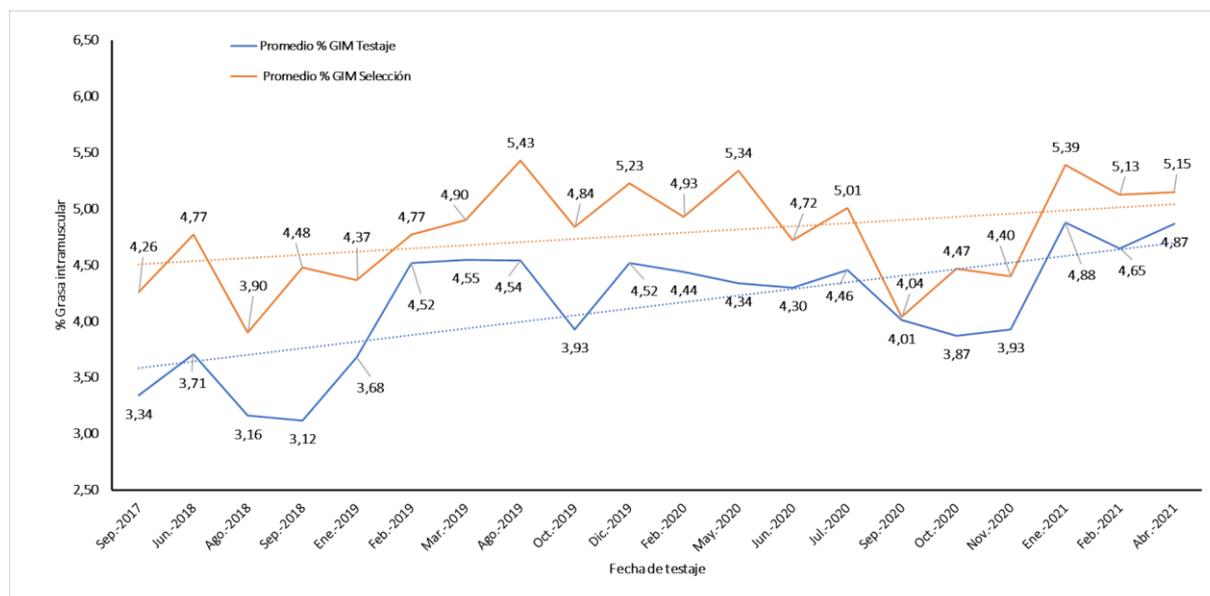
Tabla 5.4. Intensidad de selección de hembras duroc Templario™ testadas en el tiempo

Fecha	N Todo	N Selección	% Selección	i	Índice de selección			% GIM_US			
					Media todo	Media selección	Δ mejora	Media todo	Media selección	Δ mejora	
2017											
Sep	37	10	27,03	1,23	109,2	133,1	23,9	3,34	4,26	0,92	
2018											
Jun	14	6	42,86	0,93	91,8	122,8	31,0	3,71	4,77	1,06	
Ago	10	1	10,00	1,76	78,3	108,7	30,4	3,16	3,90	0,74	
Sep	34	12	35,29	1,06	73,8	114,5	40,7	3,12	4,48	1,36	
2019											
Ene	110	38	34,55	1,08	91,1	112,9	21,8	3,68	4,37	0,69	
Feb	14	11	78,57	0,38	116,8	122,5	5,7	4,52	4,77	0,25	
Mar	22	12	54,55	0,74	112,9	123,0	10,1	4,55	4,90	0,35	
Ago	25	10	40,00	0,97	119,0	144,3	25,3	4,54	5,43	0,89	
Oct	50	13	26,00	1,25	101,8	128,2	26,4	3,93	4,84	0,91	
Dic	37	13	35,14	1,06	120,3	140,3	20,0	4,52	5,23	0,71	
2020											
Feb	30	15	50,00	0,80	116,2	131,4	15,2	4,44	4,93	0,49	
May	89	14	15,73	1,55	124,3	150,1	25,8	4,34	5,34	1,00	
Jun	21	12	57,14	0,69	122,4	131,8	9,4	4,30	4,72	0,42	
Jul	25	17	68,00	0,53	122,4	134,6	12,2	4,46	5,01	0,55	
Sep	10	5	50,00	0,80	132,0	134,8	2,8	4,01	4,04	0,03	
Oct	24	7	29,17	1,18	107,3	128,7	21,4	3,87	4,47	0,60	
Nov	9	2	22,22	1,35	108,2	128,7	20,5	3,93	4,40	0,47	
2021											
Ene	21	15	71,43	0,48	133,7	146,3	12,6	4,88	5,39	0,51	
Feb	17	10	58,82	0,67	121,2	132,7	11,5	4,65	5,13	0,48	
Abr	19	12	63,16	0,60	122,8	132,5	9,7	4,87	5,15	0,28	

*i: Intensidad de selección (Falconer y Mackay, 1996).

En el caso del duroc Templario™, se obtuvo un incremento del % GIM de 0,44 % anual, lo que implica una mejora fenotípica total del 1,53 % de GIM en el periodo objeto de estudio. Nuevamente aparecen unos resultados más contundentes en esta línea con respecto a los obtenidos por Schwab *et al.* (2010). Y ahora teniendo en cuenta, que se obtienen los resultados en la misma raza que estudiaron dichos autores.

Gráfico 5.4. Tendencia fenotípica % GIM en la población testada y en la población seleccionada como futuras reproductoras. Hembras duroc



5.1.4.- Impacto de mejora del verraco terminal duroc y la técnica de laboratorio sobre el % GIM del producto final Ibérico (50 % duroc) en “Cebo de Campo”.

En la Tabla 5.5 aparecen los resultados estadísticos descriptivos del porcentaje de GIM, expresada en términos de materia seca (GIM MS; %), obtenidos para los LOTES de verracos terminales duroc (A y B) y las dos técnicas de laboratorio utilizadas.

Tabla 5.5. Estadísticos descriptivos del % de GIM MS, en función del tipo de verraco duroc y técnica de laboratorio

Estadístico	Soxhlet		(Segura y López-Bote, 2013)	
	GIM MS, % (A)	GIM MS, % (B)	GIM MS, % (A)	GIM MS, % (B)
N	59	61	59	61
Mínimo	12,10	19,13	14,06	23,42
Máximo	37,66	44,64	50,75	58,55
Mediana	25,93	29,39	26,37	35,78
Media	25,80	29,62	26,87	37,00
Varianza (n-1)	32,46	36,96	62,90	67,44
Desviación típica (n-1)	5,70	6,08	7,93	8,21
Coefficiente de variación, %	21,90	20,40	29,30	22,00

Por otro lado, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en el contenido de

% GIM MS, tanto por efecto del del tipo de verraco duroc, como de la técnica de análisis, Tabla 5.6.

Tabla 5.6. Resultado de análisis de GIM

	LOTE		Técnica				
	A (118)	B (122)	Soxhlet (120)	Segura y Lopez- Bote, 2013 (120)	SEM	LOTE	Técnica
% GIM MS	26,34 ^a	33,31 ^b	27,74 ^c	32,02 ^d	0,868	< 0,0001	< 0,0001
% GIM H	9,13 ^a	10,78 ^a	9,73 ^c	10,21 ^d	0,308	0,275	< 0,0001
% Humedad	65,60 ^a	68,30 ^b	65,09 ^c	68,86 ^d	0,733	0,000	< 0,0001

Las medias con letras distintas son significativamente diferentes a $P < 0.05$. *a, b: Efecto del tipo de verraco terminal. * c, d: Efecto de la técnica de laboratorio.

*SEM = Error estándar de la media (n= 120 Humedad y GIM MS y n=122 para GIM H).

** Probabilidad de la covariable del PV a la entrada a al testaje.

Datos estadísticos obtenidos mediante ANOVA utilizando, de % GIM presentados como medias y error estándar de la media (SEM) Las medias con letras distintas son significativamente diferentes a $P < 0.05$. *a, b, c, d.

Estos resultados corroboran el efecto de la selección sobre el carácter GIM, independientemente de la técnica analítica utilizada y mostrando en todos los casos diferencias estadísticamente significativas.

5.2.- Resultado y discusión del Experimento 2:

Modelización nutricional de cerdas ibéricas para la producción de lechones.

5.2.1.- Resultado y discusión del Experimento 2.1:

Modelización nutricional de crecimiento de cerdas ibéricas en recría

5.2.1.1.- Parámetros zootécnicos y de modelización

La Tabla 5.7 presenta el resultado de la evolución de PV instantáneos observados en la toma de datos de campo a lo largo del experimento, representados por promedio, desviación típica y % CV, junto a estos aparecen los predichos por el modelo (Modelo de Gompertz, ver Tabla 4.7). Siendo el nivel de ajuste entre ellos de un coeficiente de determinación (R^2) del 98,6 %.

Tabla 5.7. Evolución del PV a lo largo del tiempo, modelo de crecimiento recría futura reproductora ibérica

Edad, días.	Media de PV observados, kg	Desv. típica de PV observados, kg	CV, %	PV modelo Gompertz, kg
75	16,5	2,7	16,5	15,8
109	26,2	4,5	17,2	28,6
148	44,3	7,3	16,5	46,8
180	57,8	6,9	11,9	61,2
216	70,0	7,9	11,3	68,3
251	81,4	8,9	10,9	75,4
286	91,4	10,8	11,8	90,4

Por otro lado, la Tabla 5.8 representa resultados de los parámetros de rendimiento zootécnico, como son el promedio y la desviación típica del IC del alimento observada entre tres periodos de tiempo durante el crecimiento, en régimen de restricción alimentaria a partir de los 60 kg PV, y calculada como la tasa de consumo de pienso diario (CMD, kg/d) entre la tasa de kilos de GMD (kg/d).

Tabla 5.8. **Promedio** \pm desviación típica del CMD y GMD observados

Edad, días	CMD, kg/d (observado)	GMD, kg/d (observado)
109-148	1,2 \pm 0,18	0,467 \pm 0,10
148-180	1,8 \pm 0,14	0,441 \pm 0,09
180-216	2,1 \pm 0,09	0,336 \pm 0,09
216-251	2,2 \pm 0,16	0,334 \pm 0,11
251-286	2,4 \pm 0,03	0,283 \pm 0,19

Además, en la Tabla 5.9, aparecen los resultados de parámetros de específicos de la condición corporal medidos por ultrasonidos, representados como la media y desviación típica de milímetros de grasa dorsal subcutáneo (EGD, mm) y musculo dorsal (PL, mm) a nivel P2, característicos del estado de carnes para cada edad y PV en este genotipo.

Tabla 5.9. Promedio ± desviación típica de PV, PL y EGD, en mm, medidos por ultrasonidos

Edad, días	PV, kg observado	PL_US, mm (observado)	EGD_US, mm (observado)
180	57,8 ± 6,9	29,86 ± 2,3	21,46 ± 4,7
216	70,0 ± 7,9	30,08 ± 2,9	24,18 ± 4,79
251	81,4 ± 8,9	33,22 ± 3,6	27,15 ± 4,9
286	91,4±10,8	35,24 ± 2,9	30,70 ± 5,0

Por otro lado, el resultado de los parámetros de las ecuaciones calculados por el ajuste del modelo aparece en la Tabla 5.10.

Tabla 5.10. Parámetros del modelo de crecimiento de cerdas ibéricas

Parámetro		
Peso vivo madurez*, kg		PV _m = 149,3
Precocidad*		k=0,00840
Edad máxima ganancia*, días		EDADPI = 177
Caída de crecimiento en fase 2 (F2)		-59,6 %
Caída de crecimiento en fase 3 (F3)		-2,9 %
Ganancia de peso		98,6 kg
Consumo de pienso total		536,4 kg
Índice de conversión		5,44
Consumo, EM (kcal/kg)		
	a	118762,75
	b	6,91
	c	1,01
Cantidad de pienso aportada (ración)		
	Fase 2, % of PV _i	3,1
	Fase 3, % of PV _i	2,5
Energía del pienso calculada, ME (kcal/kg)		
	Pienso estarter	3324
	Pienso de crecimiento	3162
	Pienso de futuras reproductoras	3163

*Parámetros de la ecuación de Gompertz: $PV(Edad) = PV_m * e^{-e^{-k*(Edad-EDADPI)}}$

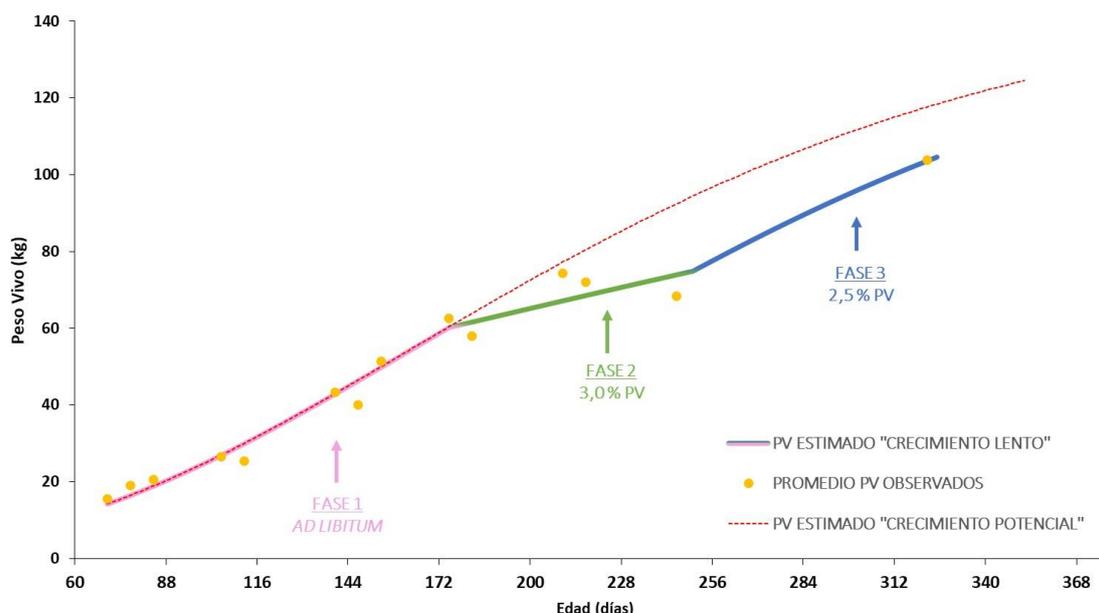
5.2.1.2.- Curvas de la modelización

El Gráfico 5.5 representa gráficamente la curva de la evolución del PV observados (nube de puntos naranja), los predichos “crecimiento lento” (curva no-lineal continua) y los predichos “crecimiento potencial” (curva no-lineal de puntos) calculados por el modelo en función del tiempo (edad) durante toda la etapa de crecimiento. La curva de la evolución de los PV predichos “crecimiento lento” por el modelo, identificó perfectamente los diferentes cambios en el crecimiento, debido a la disponibilidad de alimento en las 3 fases:

- Fase 1 de desarrollo y transición, fase de crecimiento sin límites de nutrientes, con acceso *ad libitum* al agua y pienso hasta los 175 días de edad y 60,24 kg PV, a partir de este momento el crecimiento se vuelve ineficiente con excesiva acumulación grasa siendo un problema tanto sobre el desarrollo adecuado del aparato locomotor y el reproductor.
- Fase 2, crecimiento 3,0 %, la cantidad de alimento consumida fue calculada como el 3,12 % de su PV hasta los 250 días de edad y 74,93 kg PV,
- Fase 3, crecimiento 2,5 %, la cantidad de alimento consumida fue calculada como el 2,54 % de su PV hasta los 325 días de edad y 104,65 kg PV.

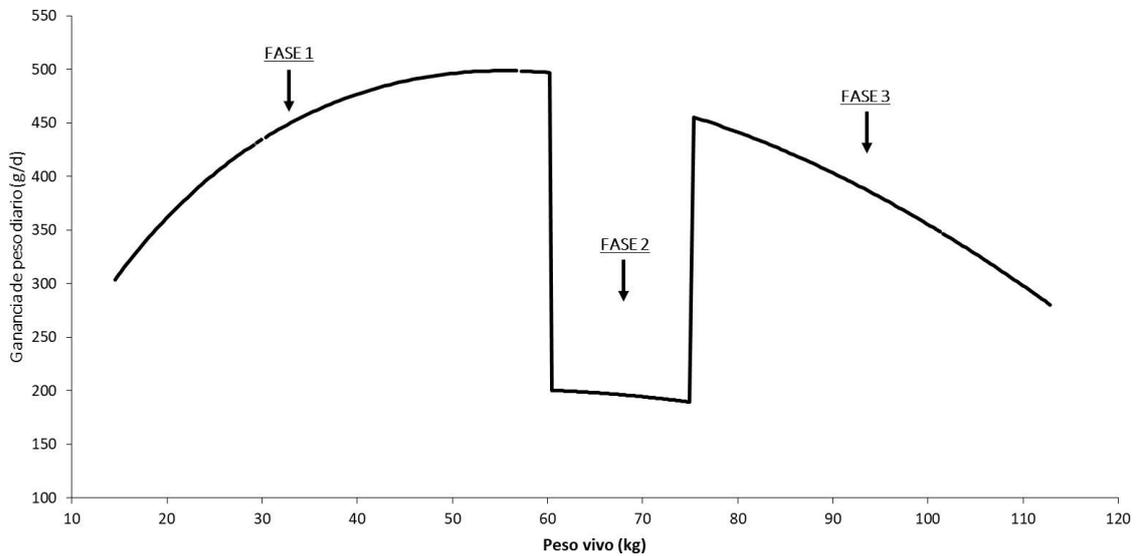
En la fase 1 los animales expresan su potencial de crecimiento máximo, coincidiendo con la curva potencial, y en fases 2 y 3 el aporte de nutrientes cubre las necesidades de mantenimiento y provoca un crecimiento ralentizado sobre la curva potencial.

Gráfico 5.5. Curva de la evolución del crecimiento estimado por el modelo



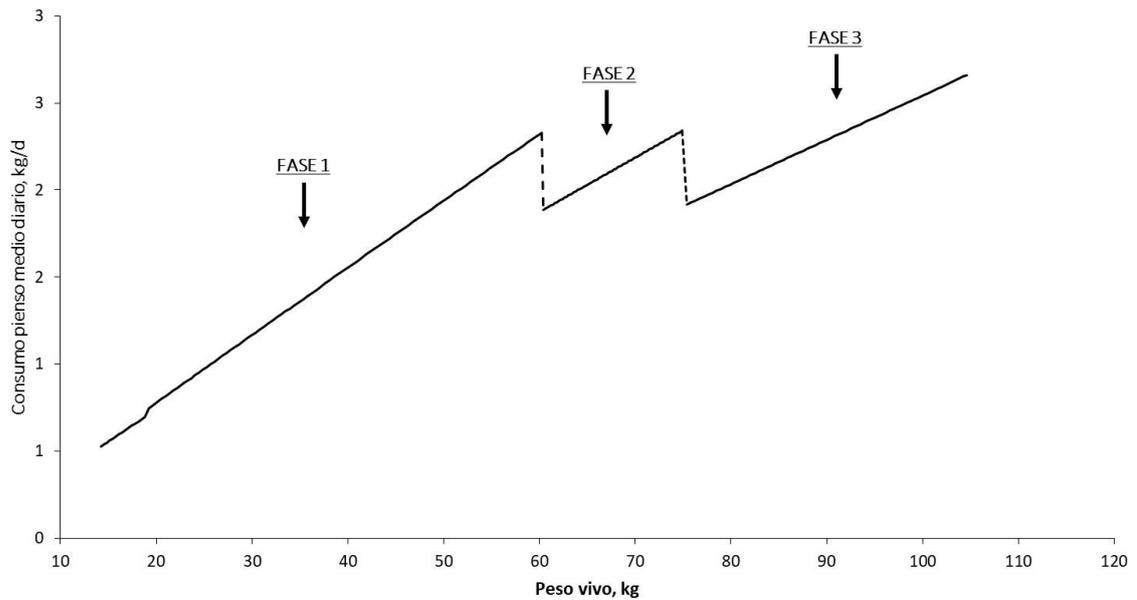
El Gráfico 5.6 representa la evolución de la GMD con respecto al PV calculado por el modelo de crecimiento lento.

Gráfico 5.6. Curva de la evolución de la ganancia de peso estimada por el modelo



El Gráfico 5.7 representa la de evolución del ritmo de consumo diario de pienso (CMD) con respecto del PV calculada por el modelo. Se identifica perfectamente los cambios de aporte de pienso de cada fase.

Gráfico 5.7. Curva del consumo de pienso medio diario estimado



5.2.1.3.- Tabla de la modelización

Tabla 5.11. Evolución de parámetros zootécnicos. Modelización de crecimiento

FASE	EDAD (DÍAS)	PV MODELO "CRECIMIENTO LENTO" (kg)	PV "CRECIMIENTO POTENCIAL" (kg)	GMD MODELO (g/día)	CONSUMO MODELO (g/día)	IC MODELO INST.
1	70	14,2	14,2		0,5	
	85	19,2	19,2	354,0	0,7	2,1
	100	24,9	24,9	401,9	1,0	2,4
	115	31,2	31,3	441,4	1,2	2,8
	130	38,1	38,2	470,9	1,5	3,1
	145	45,3	45,5	489,8	1,8	3,6
	160	52,8	52,9	498,2	2,0	4,1
	175	60,2	60,4	496,9	2,3	4,7
2	176	60,4	60,9	200,4	1,9	9,4
	190	63,2	67,7	199,2	2,0	9,9
	205	66,2	74,9	197,4	2,1	10,5
	220	69,2	81,8	195,2	2,2	11,1
	235	72,1	88,3	192,6	2,3	11,7
	250	74,9	94,4	189,5	2,3	12,3
	3	251	75,4	94,8	455,4	1,9
265		81,6	100,1	436,1	2,1	4,8
280		88,0	105,3	412,0	2,2	5,4
295		93,9	110,1	385,6	2,4	6,2
310		99,5	114,5	357,9	2,5	7,1
325		104,6	118,4	329,9	2,7	8,1

En la fase 2 se observa una importante caída de la velocidad de crecimiento que se compensa en la fase 3 hasta alcanzar el PV deseado a la edad de final de testaje programada.

5.2.2.- Resultado y discusión del Experimento 2.2: Modelización nutricional de gestación y lactación de cerdas Ibéricas.

5.2.2.1.- Descripción de base de datos observados por ciclo

Los resultados del análisis estadístico descriptivo, que estudia la distribución y variabilidad estadística de los datos obtenidos de los parámetros zootécnicos de las cerdas y sus camadas, entre los ciclos 1 al 7, “inputs del modelo”, se organizaron en los siguientes tres bloques:

a).- Evolución del peso y grasa subcutánea corporal por ciclo:

Los PV obtenidos en cada ciclo productivo de las cerdas a lo largo del tiempo sigue una evolución de acuerdo con Dourmad *et al.* (2008), donde los animales en los primeros ciclos se encuentran en crecimiento con un logro progresivo de alcanzar el peso a la madurez y la conexión con la movilización de reservas corporales durante la lactación, el peso corporal aumenta durante la gestación además de la ganancia de útero y *conceptus*. La ganancia de peso corporal maternal alcanzada durante la gestación dependerá entonces de la composición y la cantidad de peso perdido durante la anterior lactación, y la estrategia de alimentación empleada.

Los resultados de PV a la cubrición, al anteparto, al postparto y al destete; y del EGD a la cubrición, al anteparto y al destete de la cerda a lo largo de la vida productiva de la cerda durante 7 ciclos consecutivos aparecen en las Tablas de la 5.19 a la 5.25 en el ANEXO de este capítulo, y su evolución con respecto al tiempo se representa gráficamente en el Gráfico 5.8, donde se utiliza tanto PV como EGD, a la cubrición, anteparto y destete y la edad a la cubrición de 341, 488, 635, 782, 929, 1076 y 1223 días, para los ciclos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 respectivamente.

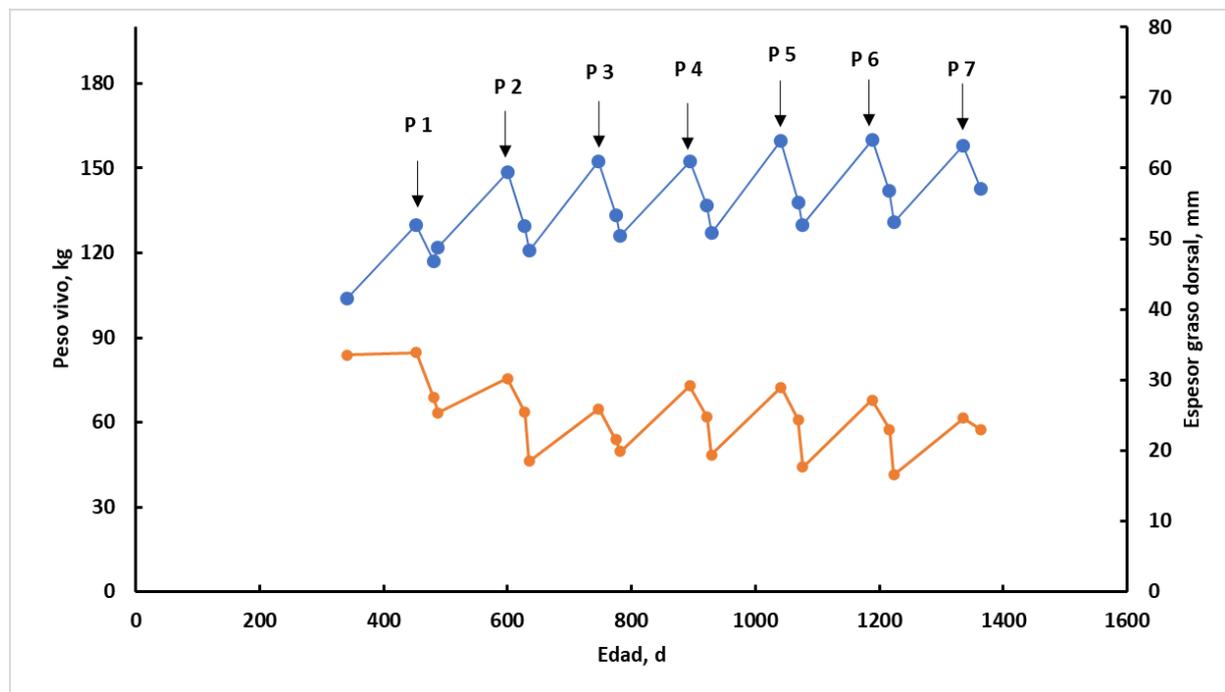
Tanto la evolución en el tiempo del PV como la del EGD variaron en función del estado fisiológico y el ciclo reproductivo de la cerda, acorde con el crecimiento esperado en esta especie. A lo largo de la gestación, tanto PV como EGD, aumentaron en función de la alimentación recibida y del potencial de crecimiento maternal-corporal (fue mayor el crecimiento en cerdas jóvenes que en adultas), crecimiento del útero, glándulas mamarias y de los fetos y anejos (*conceptus*). El exceso de alimento se acumuló como reservas energéticas en forma de grasa.

Durante la lactación, tanto PV como EGD, disminuyeron debido a la movilización de reservas para la producción de leche para alimentar a los lechones, las pérdidas de peso durante la lactación más bajas fueron las de las cerdas de ciclo 1, ya que éstas llegaban bien preparadas al parto, con una recría separada de las cerdas adultas. Sin embargo, el valor más alto fue en cerdas de ciclo 2 debido a que, a la salida de su primera lactación, se incorporaban en grupo con múltiparas, tanto en la fase de destete-cubrición, como en la cubrición confirmada. En esta situación el grupo compite por el alimento, y a la

cerda de ciclo 2 le resulta más complicado el acceso al mismo y, por tanto, cubrir las necesidades nutricionales para una adecuada recuperación del estado de carnes y desarrollo corporal para afrontar en óptimas condiciones la siguiente lactación. De esta manera, se minimizan las pérdidas de peso, y maximiza la producción de leche, apareciendo el síndrome del segundo ciclo.

Durante los tres primeros ciclos, debido a que la cerda sigue creciendo, su tasa de crecimiento corporal es mayor que cuando la cerda ha alcanzado un PV estable a la madurez. Sin embargo, la evolución de EGD se comporta de manera contraria: en el primer ciclo, debido al carácter adipogénico de esta raza, llega con una elevada cantidad de reservas grasas que va perdiendo a lo largo de su vida productiva debido a una excesiva movilización en cada lactación. Las cerdas de los ciclos 2 y 5, son las que menos EGD recuperan durante la gestación y las que significativamente ($p < 0,05$) mayor pérdida tienen durante la lactación (Tabla 5.12).

Gráfico 5.8. Evolución de PV (kg) y EGD (mm) en la vida productiva de la cerda



*P: Parto

b).- Evolución fisiológica corporal durante la gestación:

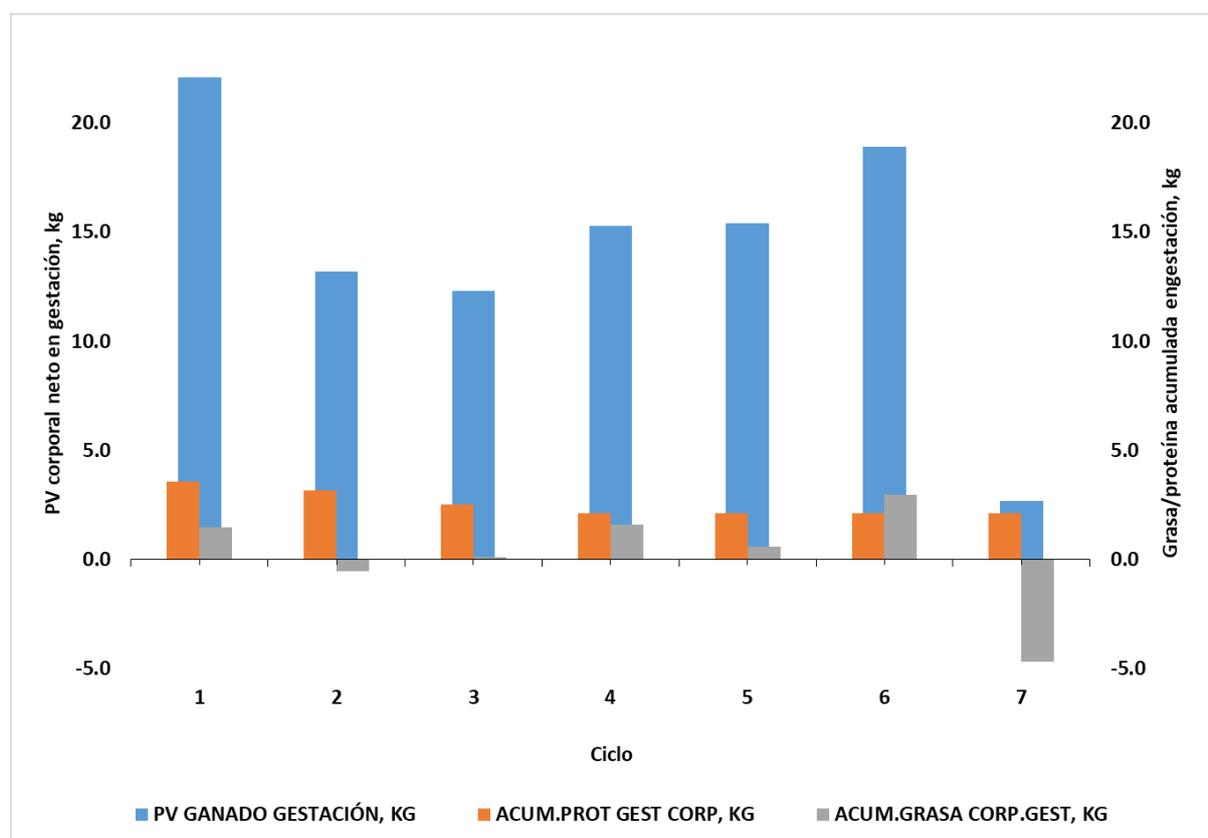
Los principales cambios fisiológicos de la cerda durante la gestación son: el cambio de PV, el de tejido materno en forma de grasa ($LD_{gestación}$), el de tejido muscular ($PD_{gestación}$) y el peso del *conceptus*, que fueron calculados con las ecuaciones 18, 19, y 11 (Tabla 4.9), que, agrupados por ciclo, en 7 ciclos consecutivos, aparecen en las Tablas 5.31, 5.32, y 5.33, respectivamente (ANEXO). Lo característico de la gestación es el aumento de PV de la cerda, debido al resultado positivo de estos tres procesos, para la recuperación de condición corporal de la anterior lactación y el desarrollo de los fetos hasta el

siguiente parto, en este sentido en los resultados de este trabajo, se observaron tanto ganancia de proteína corporal como de peso de *conceptus*, en todos los ciclos, sin embargo, hubo ganancia de grasa corporal en todas las gestaciones excepto en las de los ciclos 2 y 7.

En el ciclo 2, se puede identificar un problema característico de muchas granjas, el “síndrome del segundo parto”, que como en este caso está asociado con un balance energético negativo (i.e. Pérdida de PV) durante la lactación (Thaker y Bilkei, 2005) que normalmente reduce la tasa de partos, el tamaño de camada o ambos con respecto al primer parto (Morrow *et al.*, 1992; Hoving *et al.*, 2010). Hay varios estudios que reportan que pérdidas de PV en lactación mayores a 10-12 % reducen los parámetros reproductivos de los siguientes ciclos (Clowes *et al.*, 2003c; Thaker y Bilkei, 2005). Sin embargo, este síndrome no aparece en nuestro estudio ya que ni se reduce la productividad numérica del segundo parto respecto al primero (7,8 vs 7,0 lechones nacidos vivos respectivamente) (Tabla 5.28), ni existen pérdidas significativas de PV en la primera lactación (2,2 %) (Tabla 5.12).

Por otro lado, las pérdidas de grasa en el ciclo 7 pueden estar relacionadas con el desgaste por longevidad de la cerda que en este ciclo alcanza los 3,32 años (Gráfico 5.9).

Gráfico 5.9. Procesos fisiológicos del cambio de PV de la cerda durante la gestación

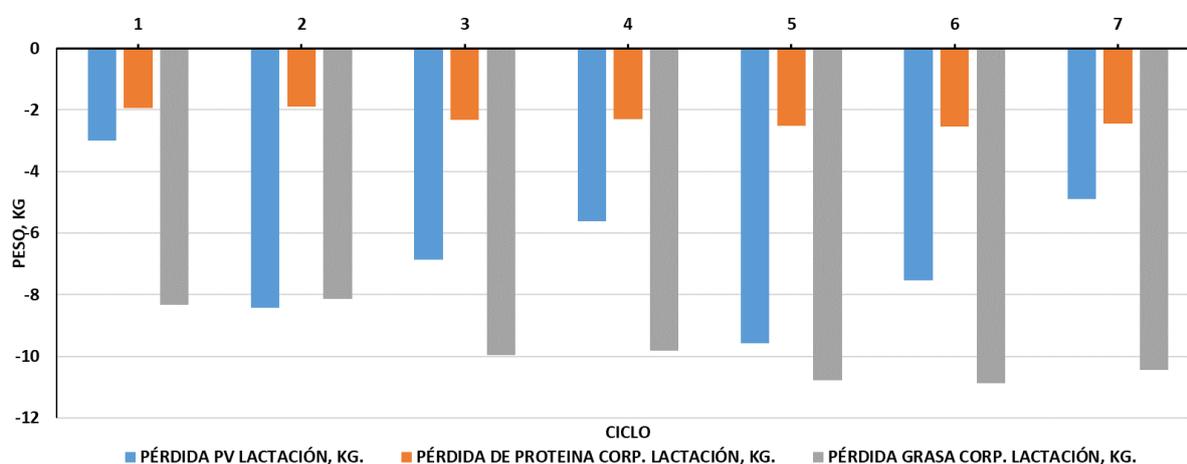


c).- Evolución fisiológica corporal y producción de leche durante la lactación:

Los principales cambios fisiológicos característicos de la cerda durante la lactación son: cambios de PV y de tejido materno en forma de pérdida de grasa ($LD_{lactación}$), de proteína ($PD_{lactación}$) y de producción de leche. Estas tres últimas, fueron calculados mediante las ecuaciones 33, 32 y 21 (Tabla 4.10), y los resultados por ciclo aparecen en las Tablas, 5.34 a la 5.35, que se pueden encontrar en el ANEXO de este capítulo. Lo característico de la lactación es la pérdida de PV de la cerda, debido al balance negativo entre los nutrientes del alimento que es capaz de metabolizar para el crecimiento y la producción de leche. Coincidiendo con esto, en los resultados de este trabajo, se observaron pérdidas de PV en los 7 ciclos, debidas a las pérdidas de tejido magro y graso, pero especialmente a las elevadas movilizaciones de reservas de grasa, que fueron mayores en cerdas adultas (ciclo >3) que en cerdas jóvenes (ciclo 1 y 2) (Gráfico 9).

La producción de leche calculada fue de 6,4 kg/d, a diferencia que los datos obtenidos en cerda yorkshire x danish landrace por (Hansen *et al.*, 2012), de 10 kg/d de media. El objetivo del modelo es ajustar la nutrición de cada momento de la cerda, para que obtenga todos los nutrientes necesarios y reducir al mínimo estas pérdidas de PV, y de esta manera mejorar la producción lechera, afrontar mejor la siguiente gestación y aumentar la longevidad.

Gráfico 5.10. Procesos fisiológicos del cambio de PV de la cerda durante la lactación

d).- Consumo de pienso en gestación y lactación de la cerda:

Los resultados del consumo de pienso en gestación y lactación a lo largo de la vida productiva de la cerda durante 7 ciclos consecutivos aparecen en las Tablas 5.26 y 5.27 respectivamente, del ANEXO de este capítulo. Coincidiendo con lo que se planificó en el diseño experimental de este estudio. Para la gestación se utilizó una curva de alimentación plana, con menor aporte para la cerda nulípara que para la múltipara, ya que la cerda en el primer parto tiene menor tasa metabólica, no teniendo que recuperar

condición corporal del parto anterior y es menos productiva (menos número de fetos) que en los siguientes; la cerda nulípara numéricamente parió menos lechones (Tabla 5.28), y obtuvo también un menor peso total de camada al nacimiento que la múltipara. Para la lactación se utilizó la misma curva de alimentación escalonada tanto para nulíparas como múltiparas, considerando que las necesidades de nutrientes de la cerda primeriza fueron similares a las de múltiparas. La cerda nulípara fue más productiva (más lechones criados en lactación) debido al manejo de las adopciones realizado en esta granja, donde las cerdas de primer parto se cargaron con la mayor cantidad de lechones posible. Según estudios como el de Farmer *et al.* (2012), encontraron que los pezones que se utilizaban en la primera lactación, producen más leche y tienen mayor desarrollo en la segunda lactación que los que no se utilizaban.

e).- Rendimiento de la camada:

El resultado de lechones NV, ND y la ganancia de peso de la camada durante la lactación observados, aparecen las Tablas 5.28, 5.29 y 5.30 respectivamente (ANEXO). El resultado de NV observado aumentó con el número de parto, pero no así ND, ni la ganancia de peso de la camada durante la lactación, como resultado del manejo de adopciones implementado.

f).- Efecto del ciclo sobre los parámetros productivos observados:

Los resultados del ANOVA que estudia el efecto que tiene el ciclo sobre los parámetros productivos de las cerdas y sus camadas medidos, aparecen en la Tabla 5.12. Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) por efecto del ciclo para el resultado promedio de lechones nacidos vivos (NV), peso de la camada al nacimiento y consumo de pienso en gestación. Las cerdas de ciclo 1 tuvieron menos NV, menor peso de la camada al nacimiento y comieron más pienso durante la gestación que las del resto de ciclos. Sin embargo, el promedio del número de lechones al destete (ND) fue significativamente mayor ($p < 0,05$) en cerdas de ciclo 1, que, en el resto de los ciclos, esto se explica, debido al manejo de las adopciones en los partos, ya que en esta granja se carga de lechones a la primeriza para estimular su desarrollo lechero. Por otro lado, el promedio de peso del lechón al destete fue significativamente mayor ($p < 0,05$) en cerdas múltiparas que en las primerizas. Además, para el promedio de peso de la camada al destete y su ganancia y consumo de pienso durante la lactación no se encontraron diferencias significativas por efecto del número de ciclo. Y finalmente, se observó una tendencia ($p < 0,1$) a la diferencia del % de pérdidas de PV en lactación debidas al ciclo.

Tabla 5.12. Efecto del ciclo sobre parámetros productivos observados

Parámetros productivos observados	ciclo							valor p	
	1	2	3	4	5	6	7	*SEM	ciclo
Peso lechón al nacimiento, kg	1,24	1,23	1,22	1,18	1,20	1,09	1,12	0,062	0,1960
Nº lechones nacidos	7,0 ^a	7,8 ^{bc}	8,8 ^b	7,7 ^{ac}	8,8 ^b	8,4 ^{bc}	8,6 ^{bc}	0,677	< 0,0001
Peso de camada nacimiento, kg	8.45 ^a	9.29 ^{bd}	10.53 ^c	8.65 ^{ad}	10.41 ^c	9.13 ^{ad}	9.09 ^{ad}	0,603	< 0,0001
Peso de lechón al destete, kg	5,55 ^a	5,91 ^{ab}	6,31 ^{ab}	5,77 ^{ab}	6,35 ^b	5,85 ^{ab}	5,98 ^{ab}	0,334	0,0090
Nº lechones destetados	7,8 ^a	6,6 ^b	6,7 ^b	6,1 ^b	6,8 ^b	6,3 ^b	6,5 ^b	0,323	< 0,0001
Peso de camada al destete, kg	43,1 ^a	39,4 ^{bc}	42,4 ^a	36,2 ^{bc}	43,4 ^a	37,1 ^{ac}	39,0 ^{ac}	2,970	0,0150
Ganancia de la camada, kg	34,6	30,1	31,9	27,5	33,0	28,0	29,9	2,778	0,0560
Pérdidas PV lactación, %	2,2 ^a	5,8 ^{bc}	4,8 ^{bc}	3,6 ^{ac}	5,9 ^{bc}	4,2 ^{ac}	3,1 ^{ac}	0,024	0,0810
Consumo total gestación, kg	175,1 ^{ac}	184,9 ^{abc}	187,6 ^{abc}	193,8 ^{ab}	194,6 ^{ab}	204,8 ^b	172,8 ^c	8,257	< 0,0001
Consumo total lactación, kg	94,0	91,2	94,8	89,7	93,4	88,0	89,1	3,543	0,6070

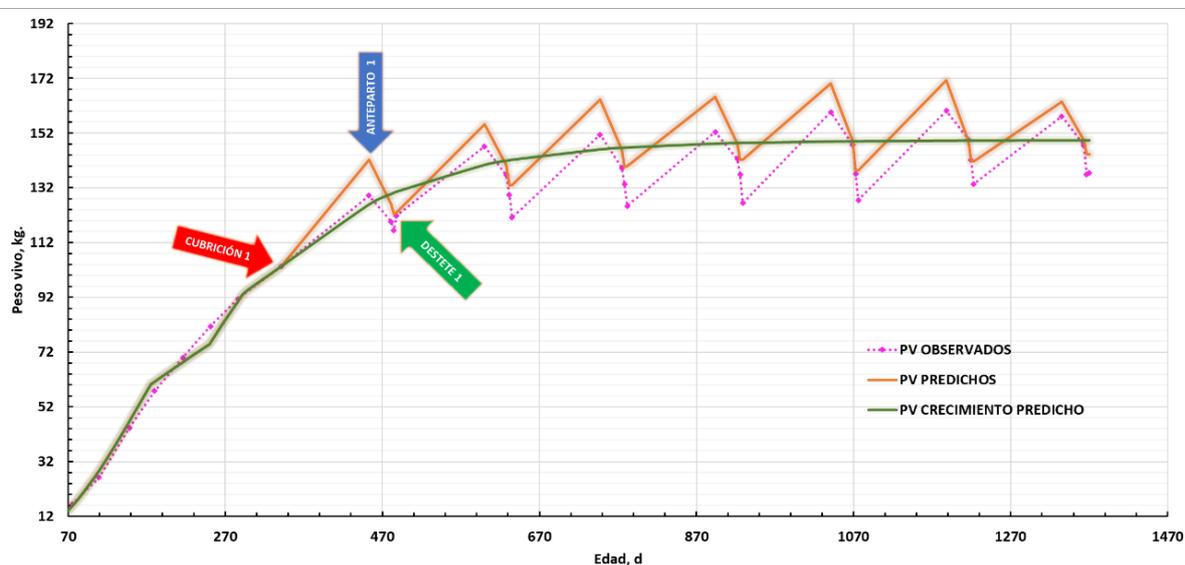
Ganancia neta (cubrición-postparto): Diferencia entre PV a la cubrición y el PV al post parto. Las medias con letras distintas son significativamente diferentes a $P < 0.05$. *a, b, c, d. Las medias con letras distintas son significativamente diferentes a $P < 0.05$. *a, b, c, d: Efecto del ciclo productivo sobre los diferentes parámetros productivos. *SEM = Error estándar de la media (n=14 para peso lechón al nacimiento, nº lechones nacidos, peso de lechón al destete, peso de camada al destete, ganancia de la camada, PV destete y n=19 para peso de camada nacimiento, nº lechones destetados, pérdidas PV lactación, PV cubrición, peso "conceptus", PV anteparto, PV postparto, Δ PV (cubrición-postparto, consumo total gestación y lactación).

5.2.2.2.- Modelo de evolución de PV a lo largo de la vida productiva

a).- Curvas de la modelización

El Gráfico 5.11 representa las curvas de cambios de peso observada (PV OBSERVADOS) y predicha por el modelo (PV PREDICHOS), así como, la del crecimiento predicho (PV CRECIMIENTO PREDICHO), como eje de referencia para que el modelo calcule, por un lado, el objetivo de edad y peso a la primera cubrición y por otro, el programa de alimentación para conseguir los cambios de peso óptimos durante la vida productiva de la cerda.

Gráfico 5.11. Curva de la evolución del PV estimada por el modelo



Cabe destacar, que a diferencia de otros modelos publicados (Dourmad *et al.*, 2008; Dourmad *et al.*, 2017; Quiniou, 2021), que utilizan como PV y BF objetivo por calibración de los datos observados y los que va calculando el modelo (Dourmad *et al.*, 2008), o la ecuación de Wibull como estimación del PV al parto relacionado con la edad (Quiniou, 2021), el modelo desarrollado en esta tesis, estimó los cambios de peso potencial entre inicio y final de gestación en cada ciclo, mediante el modelo de crecimiento estudiado en el experimento 2.1, el crecimiento maternal potencial fue calculado en base a estos, y el crecimiento de *conceptus* en función del peso de camada al nacimiento objetivo calculada como en otros estudios publicados por experiencia adquirida en la recogida de datos en granja.

a).- Tabla de la modelización

Tabla 5.13. Modelización de evolución de peso a lo largo de la vida productiva

EDAD (días)	PV PREDICHO "CERDA CRECIMIENTO" (kg)	PV PREDICHO "CERDA PRODUCCIÓN" (kg)	PV OBSERVADO "CERDA PRODUCCIÓN" (kg)
341	103,3	103,3	103,3
453	125,9	142,2	129,1
481	129,7	125,9	119,6
485	130,2	122,5	116,4
488	130,6	123,0	121,9
600	140,3	155,1	147,2
628	141,9	140,3	136,7
632	142,1	133,0	129,5
635	142,2	133,1	121,1
747	146,0	164,2	151,5
775	146,6	146,0	139,3
779	146,6	139,8	133,4
782	146,7	139,9	125,4
894	148,1	165,3	152,4
922	148,3	148,1	142,6
926	148,3	142,3	136,9
929	148,4	142,3	126,4
1041	148,9	170,0	159,7
1069	149,0	148,9	147,6
1073	149,0	138,3	137,1
1076	149,0	138,3	127,5
1188	149,2	171,3	160,2
1216	149,2	149,2	149,7
1220	149,2	141,7	142,1
1223	149,2	141,7	133,3
1335	149,3	163,5	158,1
1363	149,3	149,3	147,5
1367	149,3	144,3	136,9
1370	149,3	144,3	137,5

5.2.2.3.- Modelos de gestación y lactación

En la Tabla 5.14 se presentan los datos observados durante este experimento, lo cual nos permite establecer los objetivos de partida.

Tabla 5.14. Resumen de datos “observados vs. objetivo” de eficiencia productiva en lactación, lechón y cerda para el ajuste del modelo

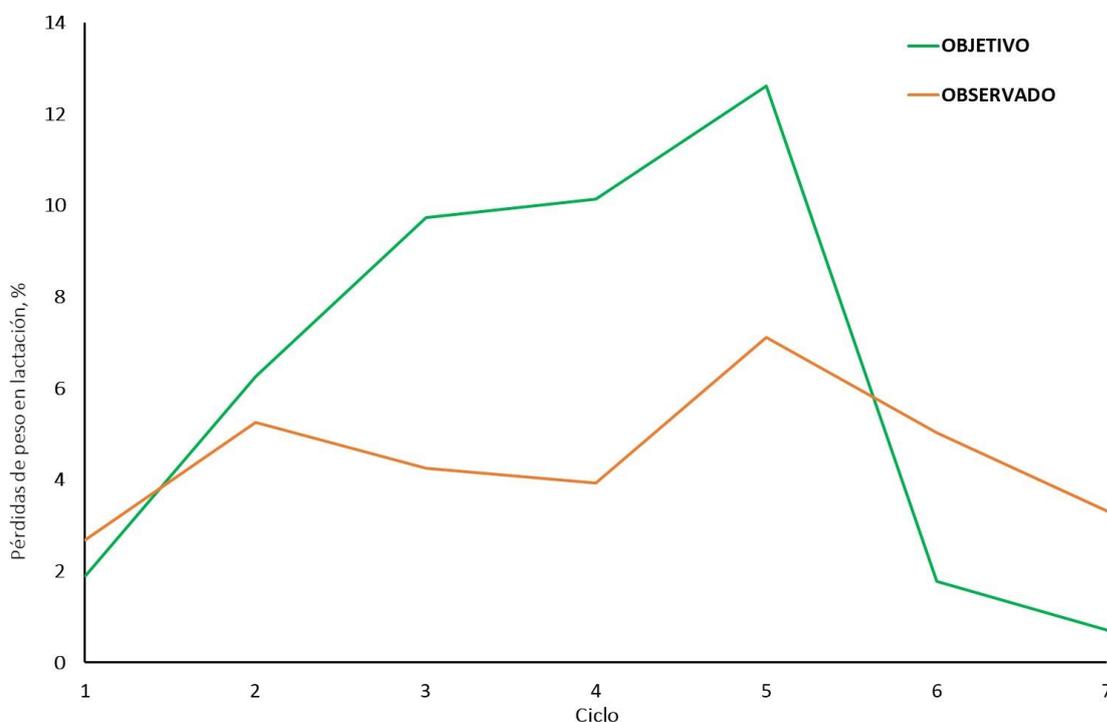
Parámetros	Ciclo						
	1	2	3	4	5	6	7
Peso lechón al nacimiento, kg							
Observado	1,24	1,23	1,22	1,18	1,20	1,09	1,12
Objetivo	1,25	1,25	1,25	1,20	1,20	1,10	1,10
Nº lechones nacidos							
Observado	7,0	7,8	8,8	7,7	8,8	8,4	8,6
Objetivo	7,0	7,8	8,4	8,8	8,6	8,6	7,8
Peso lechón al destete, kg							
Observado	5,55	5,91	6,31	5,77	6,35	5,85	5,98
Objetivo	5,20	5,30	5,40	5,50	5,50	5,34	5,47
Nº lechones destetados							
Observado	7,8	6,6	6,7	6,1	6,8	6,3	6,5
Objetivo	7,0	7,6	8,0	8,0	8,0	7,6	7,0
Pérdidas PV cerda en lactación, %							
Observado	2,68	5,26	4,25	3,94	7,12	5,03	3,32
Objetivo	1,89	6,26	9,74	10,14	12,61	1,78	0,71

La condición corporal se estimó mediante la ecuación 17 Tabla 4.9, que evaluó la relación entre el PV_v con el EGD (P2) propuesto por (Dourmad *et al.*, 1997; Dourmad *et al.*, 2008) para predecir la energía corporal, contenido de grasa y proteína, que se ajusta relativamente a las mediciones observadas en los 7 ciclos estudiados: 33,52 vs 21,7; 25,35 vs 17,1; 18,5 vs.16,6; 19,86 vs. 18,2; 19,43 vs. 18,2; 17,65 vs 20,0; 16,55 vs. 19,44, Tabla 5.29 vs 5.23 las desviaciones se debieron a que las ecuaciones utilizadas se obtienen de genotipos comerciales menos grasos que los del estudio (Gill, 2006) .

Mejorando el balance entre nutrientes suministrados y las necesidades de nutrientes durante la gestación se esperó una mejora en el manejo de las cerdas (Quiniou, 2021).

Se estableció como objetivo una dinámica de pérdida de PV en lactación no superior al 15 %, que aparece en el Gráfico 5.12., ya que la cerda es más eficiente movilizandore reservas para la producción de leche que a base de la alimentación.

Gráfico 5.12. Pérdidas de peso durante la Lactación, %



El modelo desarrollado predijo las necesidades energéticas (EMm + EMleche) y proteicas (aminoácidos) durante la lactación, para una producción de peso de camada al destete objetivo y minimizando las pérdidas de PV para cada ciclo productivo, a un mínimo costo de alimentación.

El modelo detectó la excesiva movilización de reservas en determinadas lactaciones y también se pudieron identificar la existencia de deficiencias o excesos nutrientes, de acuerdo con Dourmad *et al.* (2008).

El enfoque del modelo combina los conocimientos actuales sobre la utilización de nutrientes de cerdas en lactación con el flujo de datos producidos en granja. Este enfoque permitió capturar la variabilidad individual en el rendimiento de cerdas y camadas de acuerdo con la granja en estudio, genotipo y parto.

El modelo predijo una composición de nutrientes del pienso que aparece en la Tabla 5.15. Para cada pienso se calculó, mediante análisis de sensibilidad en el programa de formulación Brill[®] Formulation (Feed Management Systems[™], Estados Unidos), el coste marginal por unidad de energía y de lisina digestible. El resto de los aminoácidos digestibles se calcularon como ratios respecto a la lisina digestible, como se ha citado anteriormente.

Tabla 5.15. Composición de las dietas calculadas por el modelo

Nutriente	Pienso gestación	Pienso de lactación
EM, kcal/kg	2.975	3.150
PB, %	13,90	16,00
*LYS DIS, %	0,37	0,86
Met Dig. Ile., %	0,10	0,26
Metionina + Cisteina Dig. Ile., %	0,26	0,52
Treonina Dig. Ile., %	0,28	0,57
Triptófano Dig. Ile., %	0,07	0,16
Valina Dig. Ile., %	0,28	0,73

*El cálculo de aminoácidos se realizó en base de las necesidades de lisina digestible del ciclo más limitante, ciclo 1.

La cantidad pienso consumida observada (base de datos) con respecto a la establecida o estimada por el modelo, tanto para gestación como de lactación y para cada ciclo, aparece en la Tabla 5.16.

Tabla 5.16. Consumo de pienso en gestación y lactación por ciclo

Cantidada pienso	ciclo						
	1	2	3	4	5	6	7
Gestación, kg							
Observado	175,1	184,9	187,6	193,8	194,6	204,8	172,8
Establecido	176,8	155,0	155,0	166,3	166,3	177,6	177,6
Lactación, kg							
Observado	94,0	91,2	94,8	89,7	93,4	88,0	89,1
Estimado	115,1	106,4	106,9	106,4	99,3	127,0	125,8

Para la gestación, con el cálculo de volumen de pienso necesario por ciclo, y fijados de partida los días de cambios de la cantidad de pienso aportada, el modelo ajusta por los criterios de optimización anteriormente descritos la curva de alimentación en función de la madurez de la cerda (núlpara y múltipara) y de su estado de carne de (entre 1-5), Tabla 5.17. Obteniendo una propuesta de curva de alimentación en escalera para mejorar la eficiencia productiva, a diferencia de la curva plana de partida.

Tabla 5.17. Curvas de consumo de pienso en gestación establecidas por el modelo

Cerde		Día de cambio			
Nulípara	Estado de carnes	1	45	105	Total
1	Muy delgada	1,8 kg	2,2 kg	2,5 kg	233 kg
2	Delgada	1,5 kg	1,9 kg	2,2 kg	199 kg
3	Normal	1,3 kg	1,7 kg	2,0 kg	177 kg
4	Gorda	1,1 kg	1,5 kg	1,8 kg	154 kg
5	Muy Gorda	1,0 kg	1,4 kg	1,7 kg	143 kg
Multípara					
1	Muy delgada	2,0 kg	2,2 kg	2,4 kg	241 kg
2	Delgada	1,7 kg	1,7 kg	2,0 kg	195 kg
3	Normal	1,5 kg	1,4 kg	1,8 kg	166 kg
4	Gorda	1,3 kg	1,1 kg	1,6 kg	138 kg
5	Muy Gorda	1,2 kg	0,9 kg	1,4 kg	120 kg

Para el cálculo de las curvas de alimentación durante la gestación, Tabla 5.17, el modelo desarrollado predijo las necesidades energéticas ($EM_m + EM_{conceptus} + EM_{maternal}$) y proteicas (aminoácidos) para un aumento de peso, acumulación grasa y proteica al parto objetivo, según el potencial modelo de crecimiento fetal y maternal de la cerda ibérica en cada ciclo productivo a un mínimo costo de alimentación. A diferencia de otros modelos de cerda comercial que tienen en cuenta 120 minutos de actividad física al día en situaciones de alojamiento en grupo (Quiniou, 2021), en nuestro caso observamos 235 minutos al día para el cálculo de las necesidades de EM_m .

A partir de los resultados obtenidos durante los últimos años sobre la utilización de energía y aminoácidos de cerdas, es posible mejorar las estrategias de alimentación. El enfoque factorial permite determinar con precisión las necesidades de alimentación en función de las condiciones de alojamiento, los objetivos de rendimiento y la condición corporal de las cerdas, para los sistemas de producción porcina más habituales. Con un modelo de predicción, se pueden evaluar los efectos a medio y largo plazo de una estrategia de alimentación para un tipo determinado de cerda en unas condiciones de alojamiento determinadas. Esto da lugar a un enfoque dinámico de la nutrición y permite identificar los factores limitantes en las dietas y/o los suministros excesivos. El desarrollo de herramientas informáticas específicas facilita en gran medida el uso de estos conceptos por parte de los nutricionistas o para la enseñanza de estos. Dourmad *et al.* (2008)

Como se puede observar gráficamente, Gráficos 12 y 13, las curvas de alimentación que propuso el modelo fueron en forma de escalera, adaptándose a cubrir las necesidades nutricionales de cada momento:

- a) Para la cerda primeriza aumentan las necesidades progresivamente según avanza la gestación por el crecimiento y al final por el crecimiento de los fetos, gráfico 5.13.
- b) En cerdas múltiparas, hasta el día 50 de gestación aumentan las necesidades por encima del mantenimiento para la recuperación de condición corporal de la lactación anterior para aumentar la precisión de la alimentación, y a final de la gestación para el crecimiento fetal, Gráfico 5.14.

Gráfico 5.13. Curva de alimentación cerdas nulíparas en gestación

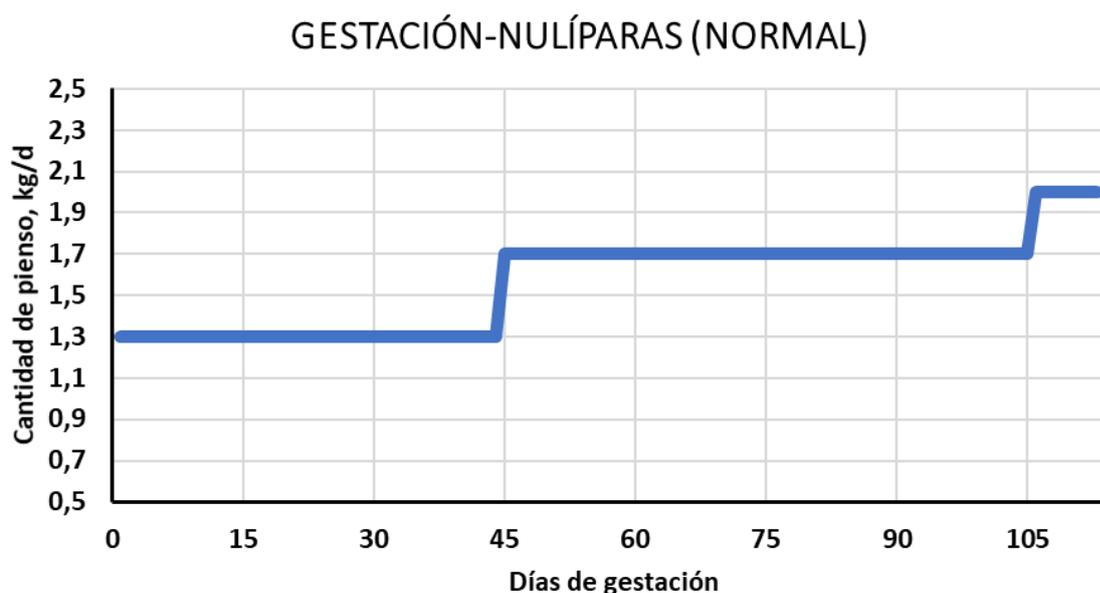
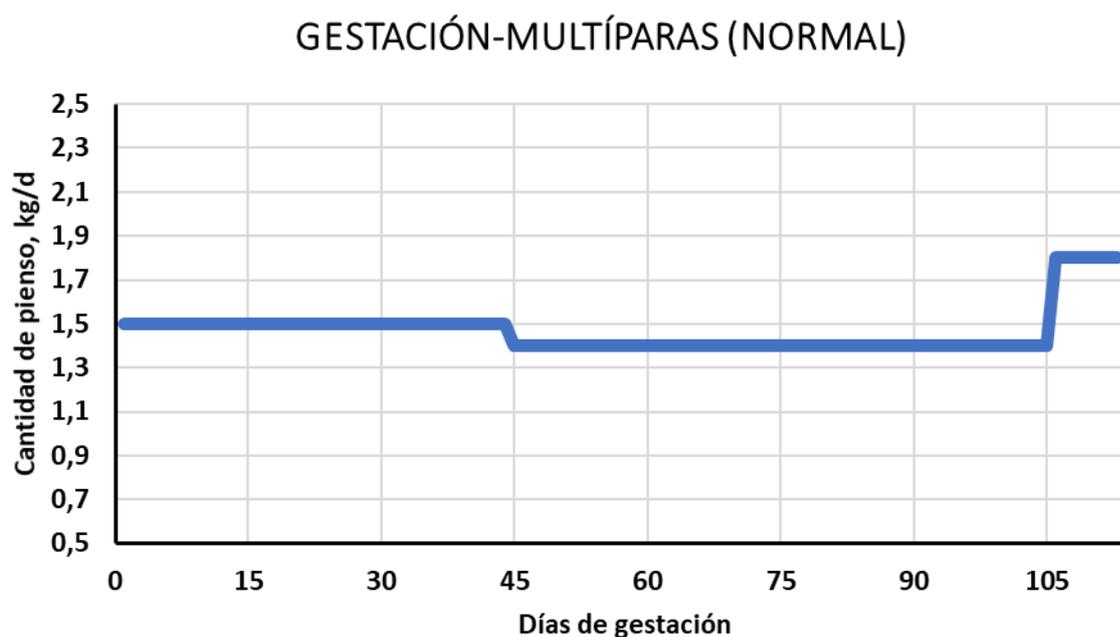


Gráfico 5.14. Curva de alimentación cerdas múltiparas en gestación



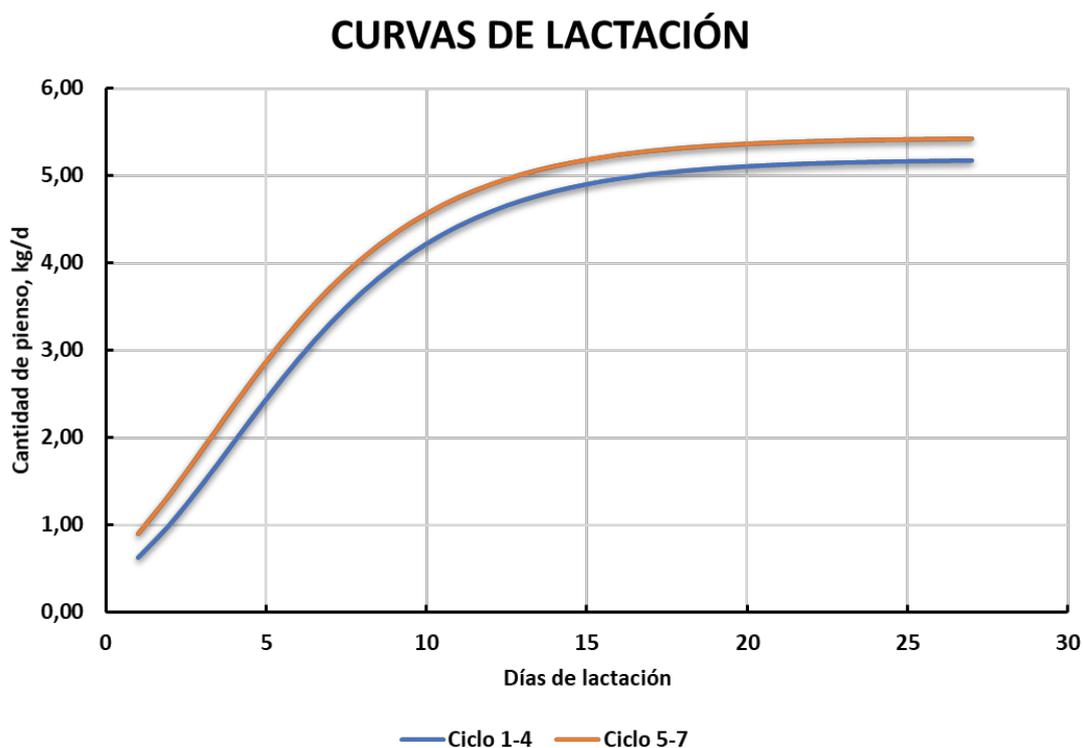
Por otro lado, para la lactación, con el cálculo de volumen de pienso necesario por ciclo, y fijados de partida la evolución de días de cambios de la cantidad de pienso aportada, el modelo ajusta por los criterios de optimización anteriormente descritos la curva de alimentación en función de la madurez de la cerda (ciclo 1-4 y 5-7), Tabla 5.18.

Tabla 5.18. Curvas de consumo de pienso en lactación calculadas por el modelo

Día	Ciclo 1-4 (kg)	Ciclo 5-7 (kg)
1	0,62	0,90
2	1,01	1,36
3	1,46	1,86
4	1,95	2,38
5	2,44	2,87
6	2,90	3,32
7	3,31	3,72
8	3,67	4,06
9	3,97	4,34
10	4,22	4,57
11	4,42	4,75
12	4,59	4,90
13	4,72	5,02
14	4,82	5,11
15	4,90	5,18
16	4,97	5,24
17	5,02	5,28
18	5,05	5,32
19	5,08	5,35
20	5,11	5,37
21	5,13	5,38
22	5,14	5,39
23	5,15	5,40
24	5,16	5,41
25	5,16	5,42
26	5,17	5,42
27	5,17	5,42
Total	110,31	118,75

El modelo calcula con precisión la concentración nutricional y el volumen de pienso a aportar cada día durante la lactación para obtener el resultado productivo óptimo, Gráfico 5.15. Distinguiendo entre cerdas jóvenes (entre 1^{er} y 4^o parto) y cerdas adultas (>5^o parto).

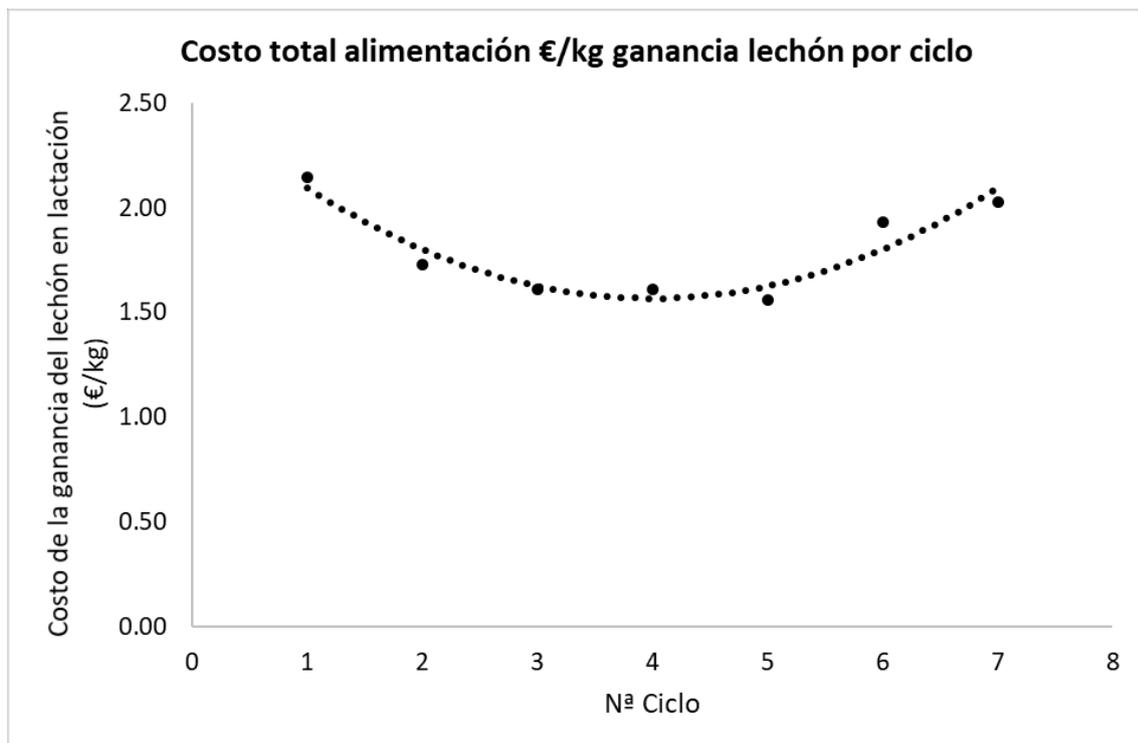
Gráfico 5.15. Curva de alimentación cerdas en lactación



5.2.2.4.- Costes

La optimización final del modelo estableció la composición y los niveles de alimentación del pienso en cada fase de ciclo productivo para cubrir las necesidades de EM y LYS DIS para cada ciclo tanto en gestación como en lactación. Se observó que la cerda es más eficiente entre los ciclos 3 y 5, Gráfico 5.16, produciendo el kilogramo de lechón destetado más barato de toda su vida productiva, a un promedio de 1,6 euros por ciclo (gestación + lactación). Hay que destacar también, que el promedio óptimo del índice de conversión de alimentación en kilogramos de camada producida de la cerda por ciclo (gestación + lactación), calculado para los 7 ciclos del estudio, fue de 8,85 kg, que corresponde a un coste de 1,80 €.

Gráfico 5.16. Coste alimentación por ciclo, del kilogramo de camada destetada, €/kg



Duración gestación:113; Duración lactación: 28,6; Precio pienso gestación: 0,183 €/kg; Precio pienso lactación: 0,234 €/kg; Precio lechón 6 kg: 17 €; Precio kg de lechón: 2,833 €/kg.

*precios de pienso cotizado en julio de 2018.

5.2.2.5.- ANEXO

Los resultados del análisis estadístico descriptivo de parámetros zootécnicos de la cerda utilizados para el ajuste del modelo, PV y EGD por ciclo, que caracterizan la evolución fisiológica en su vida productiva, aparecen en Tablas de la 5.19 a la 5.25.

Tabla 5.19. PV de la cerda a la cubrición, kg. Por ciclos productivos

PV a la Cubrición, kg							
Estadísticos	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
No. de observaciones	97	63	38	32	34	19	14
Mínimo	80,5	91,0	92,5	99,0	110,0	112,0	100,0
Máximo	136,0	158,0	151,0	160,0	154,0	179,0	155,0
Mediana	103,0	122,0	120,0	122,8	127,0	126,5	132,3
Media	103,9	122,4	121,1	126,4	127,3	130,2	131,0
Varianza (n-1)	116,1	170,8	173,9	195,0	115,9	279,5	146,7
Desviación típica (n-1)	10,8	13,1	13,2	14,0	10,8	16,7	12,1
Coefficiente de variación, %	10,3	10,6	10,7	10,9	8,3	12,5	8,9

Tabla 5.20. PV de la cerda al anteparto, kg. Por ciclos productivos

PV anteparto, kg							
Estadísticos	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
No. de observaciones	97	63	38	32	34	19	14
Mínimo	91,0	118,0	130,0	113,5	121,0	130,0	122,0
Máximo	170,0	190,0	192,0	194,0	191,0	211,0	183,0
Mediana	129,0	147,0	151,0	153,3	161,5	154,0	158,0
Media	129,5	148,5	152,5	152,4	159,7	160,2	158,1
Varianza (n-1)	173,5	240,2	193,2	345,5	329,4	536,1	277,9
Desviación típica (n-1)	13,2	15,5	13,9	18,6	18,1	23,2	16,7
Coefficiente de variación, %	10,1	10,4	9,0	12,0	11,2	14,1	10,2

Tabla 5.21. PV al postparto de la cerda, kg. Por ciclos productivos

PV postparto, kg							
Estadísticos	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
No. de observaciones	97	63	38	32	34	19	14
Mínimo	87,2	104,5	112,8	102,2	112,6	121,2	108,8
Máximo	161,4	175,5	174,5	179,6	180,1	194,1	172,4
Mediana	119,2	135,8	139,1	142,9	147,7	143,4	148,0
Media	119,9	137,9	140,2	142,6	147,6	149,7	147,5
Varianza (n-1)	153,5	246,9	197,1	356,6	301,1	485,7	307,2
Desviación típica (n-1)	12,4	15,7	14,0	18,9	17,4	22,0	17,5
Coefficiente de variación, %	10,3	11,3	9,9	13,0	11,6	14,3	11,4

Tabla 5.22. PV al destete de la cerda, kg. Por ciclos productivos

Estadísticos	PV destete, kg						
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
No. de observaciones	97	63	38	32	34	19	14
Mínimo	89,0	102,5	111,0	106,0	111,0	121,0	112,0
Máximo	169,0	160,0	165,0	173,0	169,0	178,5	165,0
Mediana	116,0	128,0	131,0	135,5	136,5	136,0	140,5
Media	117,0	129,5	133,4	136,9	138,0	142,1	142,6
Varianza (n-1)	170,7	186,8	221,2	316,9	170,6	271,3	254,2
Desviación típica (n-1)	13,1	13,7	14,9	17,8	13,1	16,5	15,9
Coefficiente de variación, %	11,1	10,5	11,0	12,8	9,3	11,3	10,8

Tabla 5.23. EGD de la cerda a la cubrición, kg. Por ciclos productivos

Estadísticos	EGD a la cubrición, mm						
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
No. de observaciones	97	63	38	32	34	19	14
Mínimo	21,66	11,70	9,19	7,13	10,74	7,80	6,93
Máximo	56,11	36,22	29,98	32,23	32,72	32,75	24,78
Mediana	33,62	25,65	16,81	19,65	18,95	16,27	16,46
Media	33,52	25,35	18,50	19,86	19,43	17,65	16,55
Varianza (n-1)	34,23	33,89	25,69	39,67	23,28	42,70	23,28
Desviación típica (n-1)	5,85	5,82	5,07	6,30	4,83	6,53	4,83
Coefficiente de variación, %	17,36	22,79	27,03	31,21	24,47	36,02	28,09

Tabla 5.24. EGD de la cerda al anteparto, kg. Por ciclos productivos

Estadísticos	EGD al anteparto, mm						
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
No. de observaciones	97	63	38	32	34	19	14
Mínimo	16,46	14,90	13,34	13,52	12,75	12,48	11,61
Máximo	66,35	52,27	43,87	45,51	56,11	48,80	34,14
Mediana	33,10	29,46	24,78	30,68	26,77	27,78	24,26
Media	33,86	30,24	25,93	29,20	28,95	27,15	24,61
Varianza (n-1)	64,97	48,11	34,81	58,25	82,63	86,45	50,51
Desviación típica (n-1)	8,06	6,94	5,90	7,63	9,09	9,30	7,11
Coefficiente de variación, %	23,68	22,76	22,45	25,72	30,94	33,34	27,82

Tabla 5.25. EGD de la cerda al destete, kg. Por ciclos productivos

Estadísticos	EGD al destete, mm						
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
No. de observaciones	97	63	38	32	34	19	14
Mínimo	14,90	14,62	10,74	10,78	12,82	13,86	11,61
Máximo	50,81	46,24	38,20	40,03	47,52	35,46	35,70
Mediana	27,38	25,13	21,05	25,30	22,61	22,30	21,75
Media	27,61	25,43	21,53	24,74	24,37	23,04	23,03
Varianza (n-1)	34,59	40,39	29,68	44,83	52,41	45,26	60,46
Desviación típica (n-1)	5,88	6,36	5,45	6,70	7,24	6,73	7,78
Coefficiente de variación, %	21,19	24,79	24,97	26,63	29,26	28,42	32,54

Los resultados del análisis estadístico descriptivo de consumo de pienso observado de la cerda y utilizados para el ajuste del modelo, en gestación y lactación por ciclo, que caracterizan el manejo de alimentación aplicado en el estudio, aparecen en las Tablas de la 5.26 a la 5.27.

Tabla 5.26. Consumo de pienso de la cerda durante la gestación. Por ciclos productivos

Estadístico	Consumo de pienso en gestación, kg						
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
No. de observaciones	97	63	38	32	34	19	14
Mínimo	128,8	145,2	149,6	130,8	157,5	140,2	135,2
Máximo	245,4	253,4	274,9	270,4	233,5	262,4	268,1
Mediana	177,2	181,6	178,5	189,4	187,3	203,7	167,1
Media	175,1	184,9	187,6	193,8	194,6	204,8	172,8
Varianza (n-1)	318,8	451,9	1145,1	1132,8	558,7	1143,1	954,5
Desviación típica (n-1)	17,9	21,3	33,8	33,7	23,6	33,8	30,9
Coefficiente de variación, %	10,1	11,4	17,8	17,1	12,0	16,1	17,2

Tabla 5.27. Consumo de pienso de la cerda durante la lactación. Por ciclos productivos

Estadístico	Consumo de pienso en lactación, kg						
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
No. de observaciones	97	63	38	32	34	19	14
Mínimo	61,5	56,5	61,5	62,5	70,5	62,5	56,5
Máximo	160,5	136,5	157,5	145,5	145,5	126,0	108,0
Mediana	87,0	89,4	91,5	86,7	89,4	86,4	90,0
Media	94,0	91,2	94,8	89,7	93,4	88,0	89,1
Varianza (n-1)	382,5	280,2	305,1	234,1	262,0	153,5	175,7
Desviación típica (n-1)	19,6	16,7	17,5	15,3	16,2	12,4	13,3
Coefficiente de variación, %	20,7	18,2	18,2	16,8	17,1	13,7	14,3

Los resultados del análisis estadístico descriptivo de parámetros zootécnicos de la camada utilizados para el ajuste del modelo, NV, ND y $\Delta PV_{\text{camada}}$ por ciclo, que caracterizan la productiva reproductiva y lechera de la cerda, aparecen en Tablas de la 5.28 a la 5.30.

Tabla 5.28. Número de lechones nacidos vivos por camada. Por ciclos productivos

Estadísticos	Número de lechones nacidos vivos						
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
No. de observaciones	97	63	38	32	34	19	14
Mínimo	2,0	2,0	4,0	2,0	5,0	5,0	4,0
Máximo	11,0	13,0	14,0	11,0	14,0	13,0	12,0
Mediana	7,0	8,0	9,0	8,0	8,0	8,0	9,0
Media	7,0	7,8	8,8	7,7	8,8	8,4	8,6
Varianza (n-1)	3,4	5,3	5,0	5,8	3,7	4,0	6,4
Desviación típica (n-1)	1,9	2,3	2,2	2,4	1,9	2,0	2,5
Coefficiente de variación, %	26,3	29,1	25,1	30,9	21,6	23,2	28,5

Tabla 5.29. Número de lechones destetados por camada. Por ciclos productivos

Estadísticos	Número de lechones destetados						
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
No. de observaciones	97	63	38	32	34	19	14
Mínimo	3,0	2,0	4,0	2,0	5,0	3,0	4,0
Máximo	9,0	9,0	8,0	8,0	8,0	9,0	8,0
Mediana	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,0	7,0
Media	7,8	6,6	6,7	6,1	6,8	6,3	6,5
Varianza (n-1)	0,7	2,0	0,5	2,8	0,9	2,0	1,2
Desviación típica (n-1)	0,8	1,4	0,7	1,7	0,9	1,4	1,1
Coefficiente de variación, %	10,8	21,2	10,8	27,0	13,7	21,9	16,2

Tabla 5.30. Ganancia de peso de la camada. Por ciclos productivos

Estadísticos	Ganancia de peso durante la lactación, kg						
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
No. de observaciones	97	63	38	32	34	19	14
Mínimo	5,8	-3,2	10,8	-2,0	7,6	6,5	11,0
Máximo	66,4	71,4	55,2	48,9	54,3	53,7	53,4
Mediana	34,7	32,3	32,5	29,5	32,7	25,7	30,4
Media	34,6	30,1	31,9	27,5	33,0	28,0	29,9
Varianza (n-1)	86,2	160,3	90,5	172,1	88,0	149,6	120,7
Desviación típica (n-1)	9,3	12,7	9,5	13,1	9,4	12,2	11,0
Coefficiente de variación, %	26,7	41,7	29,5	46,9	28,0	42,5	35,4

Los resultados del análisis estadístico descriptivo de parámetros de procesos fisiológicos de la cerda en gestación calculados para el ajuste del modelo, kilogramos de L y P acumulados durante la gestación y peso “conceptus” (kg) al parto por ciclo, que caracterizan los cambios de PV de la cerda, aparecen en las Tablas de la 5.31 a la 5.33.

Tabla 5.31. Acumulación de tejido graso maternal, kg. Gestación

Gestación	Acumulación de tejido graso maternal, kg							
	Estadísticos	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
No. de observaciones		97	63	38	32	34	19	14
Mínimo		-10,14	-10,86	-13,25	-14,39	-10,87	-14,77	-13,97
Máximo		20,55	16,85	23,66	24,09	11,69	20,58	20,69
Mediana		1,42	-0,84	-2,49	-0,39	-1,04	4,09	-6,35
Media		1,50	-0,55	0,11	1,60	0,60	2,99	-4,66
Varianza (n-1)		21,98	31,00	77,60	103,40	36,08	90,76	75,52
Desviación típica (n-1)		4,69	5,57	8,81	10,17	6,01	9,53	8,69
Coefficiente de variación, %		311,31	-1009,22	8071,50	623,81	984,85	310,58	-179,68

* Ecuación 18, Tabla 4.9.

Tabla 5.32. Acumulación de tejido magro maternal, kg. Gestación

Gestación	Acumulación de tejido magro maternal, kg							
	Estadísticos	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
No. de observaciones		97	63	38	32	34	19	14
Mínimo		2,51	2,58	2,32	2,05	2,05	2,07	2,07
Máximo		5,23	4,16	3,03	2,16	2,18	2,16	2,18
Mediana		3,64	3,12	2,49	2,11	2,14	2,11	2,13
Media		3,59	3,17	2,54	2,12	2,12	2,12	2,12
Varianza (n-1)		0,17	0,10	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
Desviación típica (n-1)		0,42	0,31	0,19	0,03	0,04	0,03	0,03
Coefficiente de variación, %		11,56	9,77	7,35	1,33	1,74	1,41	1,44

* Ecuación 19, Tabla 4.9.

Tabla 5.33. Peso *conceptus* al parto, kg. Gestación

Gestación	Peso “conceptus” al parto, kg							
	Estadísticos	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
No. de observaciones		97	63	38	32	34	19	14
Mínimo		2,55	2,36	4,71	3,17	6,87	5,58	6,36
Máximo		17,65	16,87	20,58	14,94	20,21	16,87	14,43
Mediana		9,47	10,97	11,81	10,56	12,07	10,76	10,41
Media		9,56	10,60	12,28	9,87	12,11	10,55	10,53
Varianza (n-1)		7,09	9,00	9,25	10,02	8,84	11,07	5,19
Desviación típica (n-1)		2,66	3,00	3,04	3,17	2,97	3,33	2,28
Coefficiente de variación, %		27,71	28,09	24,45	31,57	24,18	30,70	20,85

* Ecuación 11, Tabla 4.9.

Los resultados del análisis estadístico descriptivo de parámetros de procesos fisiológicos de la cerda en lactación para el ajuste del modelo, kilogramos de L y P acumulados durante la lactación y la producción de leche (kg) por ciclo, que caracterizan los cambios de PV de la cerda y la camada, aparecen en las Tablas de la 5.34 a la 5.36.

Tabla 5.34. Acumulación de proteína corporal, kg. Lactación

Lactación	Acumulación de proteína corporal en la lactación, kg							
	Estadísticos	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
No. de observaciones		97	63	38	32	34	19	14
Mínimo		-3,62	-4,29	-3,82	-4,14	-4,11	-4,44	-3,83
Máximo		0,33	0,27	-0,38	0,05	-0,20	-0,15	-1,60
Mediana		-1,93	-1,81	-2,44	-2,29	-2,60	-2,35	-2,18
Media		-1,94	-1,90	-2,33	-2,29	-2,52	-2,54	-2,44
Varianza (n-1)		0,84	0,62	0,52	0,66	0,60	0,96	0,56
Desviación típica (n-1)		0,92	0,79	0,72	0,82	0,77	0,98	0,75
Coefficiente de variación, %		-46,89	-41,20	-30,57	-35,04	-30,29	-37,52	-29,53

* Ecuación 32, Tabla 4.10.

Tabla 5.35. Acumulación de grasa corporal, kg. Lactación

Lactación	Acumulación de grasa corporal durante la lactación, kg							
	Estadísticos	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
No. de observaciones		97	63	38	32	34	19	14
Mínimo		-15,52	-18,36	-16,34	-17,71	-17,58	-19,00	-16,42
Máximo		1,41	1,15	-1,61	0,23	-0,85	-0,62	-6,85
Mediana		-8,25	-7,75	-10,43	-9,81	-11,15	-10,08	-9,34
Media		-8,32	-8,14	-9,97	-9,80	-10,77	-10,86	-10,44
Varianza (n-1)		15,39	11,43	9,54	12,18	10,97	17,53	10,23
Desviación típica (n-1)		3,92	3,38	3,09	3,49	3,31	4,19	3,20
Coefficiente de variación, %		-46,89	-41,20	-30,57	-35,04	-30,29	-37,52	-29,53

* Ecuación 33, Tabla 4.10.

Tabla 5.36. Producción de leche, kg. Lactación

Lactación	Producción de leche, kg							
	Estadísticos	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
Días de lactación		26,9	28,0	28,9	28,3	28,7	28,5	28,0
No. de observaciones		97	63	38	32	34	19	14
Mínimo		118,27	87,22	131,27	121,80	126,42	123,65	108,64
Máximo		233,69	257,51	259,51	239,24	258,89	232,55	206,35
Mediana		186,61	170,48	186,13	179,39	188,81	174,01	187,45
Media		181,94	167,91	185,98	174,68	187,86	177,27	177,90
Varianza (n-1)		606,20	1186,14	597,95	945,41	632,39	832,35	770,35
Desviación típica (n-1)		24,62	34,44	24,45	30,75	25,15	28,85	27,76
Coefficiente de variación, %		13,46	20,35	12,97	17,33	13,19	15,84	15,03

* Ecuación 21, Tabla 4.10.

5.3.- Resultado y discusión del Estudio 3:

Modelización nutricional de crecimiento de cerdo ibérico criados en sistema de “Cebo de Campo”

El principal objetivo de este experimento fue caracterizar el modelo de crecimiento del cerdo ibérico (50% duroc) en condiciones de cría comerciales de categoría “Cebo de Campo”, de los 100 a los 365 días de edad; además, estudiar el efecto del sexo, el tipo de verraco terminal y el de una combinación de aditivos antioxidantes en el pienso de acabado, sobre los rendimientos de parámetros zootécnicos en crecimiento, calidad de canal y carne. El tipo de programa de alimentación determinó la curva de crecimiento multifase como respuesta a la cantidad de pienso consumido.

5.3.1.- Efecto del sexo y el tipo de verraco terminal sobre los parámetros zootécnicos de crecimiento

a).- Parámetros de crecimiento.

La Tabla 5.37 presenta el efecto del tipo de verracos terminal (DT y DTGIM) de los LOTES (A y B) y el sexo sobre PV medidos a lo largo del crecimiento. Se observaron diferencias significativas en los PV observados en cada control ($p < 0,05$) por efecto del tipo de verracos terminal excepto, a los en el punto de control 338 días de edad ($p > 0,05$), además también el sexo tuvo efecto sobre las diferencias del PV en cada control ($p < 0,05$), excepto cuando los animales tuvieron 98,131, 168 y 200 días de edad ($p > 0,05$). El peso inicial (P1) con un error estándar de la media (SEM) de 1,076 afecta significativamente ($p < 0,05$) en el resultado de la evolución del PV a lo largo de todo el crecimiento, y se utilizó como covariable para el análisis estadístico. DT obtuvo un PV 1 (6,36 kg) significativamente mayor ($p < 0,05$) que DTGIM (5,24 kg), pero el manejo de la alimentación cambió esta tendencia a lo largo del crecimiento de los animales para obtener el crecimiento objetivo en cada momento, DTGIM alcanzó mayor peso a los 200 días de edad, obtuvo tasas de crecimiento y consumo de pienso significativamente ($p < 0,05$) mayores en condiciones *ad libitum* y en el primer periodo de restricción que DT; alcanzando 39,77 vs. 50,01 kg PV respectivamente a los 131 días de edad. Para igualar a los dos LOTES esta tendencia, el pienso suministrado se redujo DTGIM en el siguiente periodo y se igualó entre los 168 días hasta los 237 días de edad, momento que DT volvió a crecer más deprisa ($p > 0,05$) que DTGIM hasta los 278 días de edad (104,11 vs. 91,03 kg PV). De los 278 días en adelante, DTGIM incrementó significativamente ($p < 0,05$) el consumo con respecto a DT e incrementó de nuevo la tasa de crecimiento hasta el final, con diferencias significativas ($p < 0,05$) de peso de 168,42 vs. 165,55 kg de PV a los 352 días de edad.

Tabla 5.37. Efecto del sexo (S), tipo de verraco terminal (VT) y sus interacciones sobre el PV (kg) observado a distintas edades a lo largo del crecimiento

PV, kg.	Edad, d	A (228)	B (221)	Hembra (228)	Macho (221)	SEM	COV PV1	valor p		
								VT	S	VT*S
1	24	6,36 ^a	5,24 ^b	5,68 ^d	5,94 ^c	0,078		< ,0001	0,016	NS
2	98	28,29 ^b	33,77 ^a	30,67 ^c	31,29 ^c	0,406	< ,0001	< ,0001	0,977	NS
3	131	39,77 ^b	50,01 ^a	43,28 ^c	44,15 ^c	0,729	< ,0001	< ,0001	0,874	NS
4	168	51,05 ^b	58,79 ^a	53,15 ^c	54,93 ^c	0,783	< ,0001	< ,0001	0,361	NS
5	200	64,90 ^b	68,51 ^a	65,39 ^c	67,21 ^c	0,820	< ,0001	< ,0001	0,183	NS
6	237	82,27 ^a	76,14 ^b	78,36 ^d	81,46 ^c	0,996	< ,0001	0,012	0,036	NS
7	278	104,11 ^a	91,03 ^b	97,29 ^d	100,85 ^c	1,107	< ,0001	< ,0001	0,050	NS
8	303	117,81 ^b	119,33 ^a	116,13 ^d	120,78 ^c	1,196	0,000	0,024	0,023	NS
9	338	157,47 ^a	152,94 ^a	151,85 ^d	159,43 ^c	1,574	< ,0001	0,854	0,002	NS
10	352	165,55 ^b	168,42 ^a	162,84 ^d	170,77 ^c	1,610	< ,0001	0,002	0,002	NS

Las medias con letras distintas son significativamente diferentes a $P < 0.05$. *a, b: Efecto del tipo de verraco terminal; c, d: Efecto del sexo.

*SEM = Error estándar de la media (n=221 para PV1, 183 para PV2, 147 para PV3, 150 para PV4 y PV7, 115 para PV5 y PV6, 110 para PV8, 127 para PV9 y 130 para PV10).

** Probabilidad de la covariable del PV1.

En la fase de crecimiento global (98 a 352 días de edad), no hubo diferencias ($p > 0,05$) en la tasa de crecimiento entre los dos LOTES, Tabla 5.38. Por el sexo, hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) sobre el PV inicial; los machos fueron más pesados que las hembras (5,94 vs. 5,68 kg) pero no hasta los 98 días de edad (31,29 vs. 30,67 kg). De aquí en adelante, durante el periodo de restricción alimentaria, hasta los 303 días de edad, los machos crecieron significativamente ($p < 0,05$) más que las hembras por competencia por el pienso en las transiciones de cambio de su aporte, alcanzando los 120,78 vs. 116,13 kg PV al final, respectivamente. No por efecto del sexo, de acuerdo con (Serrano *et al.*, 2008). Esta tendencia continuo en la fase final, hasta los 352 días con diferencias significativas ($p < 0,05$) mayores de PV y GMD a favor de los machos, con 162,84 vs. 170,77 kg PV al final, respectivamente, con una GMD global de 1,037 vs 0,958 kg/d, respectivamente. Para entender los resultados de GMD, Tabla 5.38, hay que considerar el efecto de la restricción alimentaria además del sexo y el verraco terminal, este sistema de producción tiene como objetivo dirigir la tasa de crecimiento de los animales al margen de su verraco finalizador o sexo.

Tabla 5.38. Efecto del sexo (S), tipo de verraco terminal (VT) y sus interacciones, sobre la GMD (kg/d) observada a distintas edades a lo largo del crecimiento

GMD, kg/d	Edad, d	A (228)	B (221)	Hembra (228)	Macho (221)	SEM	COV PV1	valor p		
								VT	S	VT*S
1_2	24	0,296 ^b	0,385 ^a	0,337 ^c	0,342 ^c	0,006	< 0,0001	< 0,0001	0,977	NS
2_3	98	0,334 ^b	0,477 ^a	0,383 ^c	0,396 ^c	0,015	0,024	< 0,0001	0,787	NS
3_4	131	0,313 ^a	0,228 ^b	0,263 ^d	0,298 ^c	0,009	0,578	< 0,0001	0,020	NS
4_5	168	0,446 ^a	0,284 ^b	0,383 ^c	0,384 ^c	0,014	0,339	< 0,0001	0,260	NS
5_6	200	0,469 ^a	0,206 ^b	0,350 ^d	0,384 ^c	0,014	0,202	< 0,0001	0,011	NS
6_7	237	0,518 ^a	0,366 ^b	0,456 ^c	0,463 ^c	0,011	0,710	< 0,0001	0,835	NS
7_8	278	0,527 ^b	1,220 ^a	0,770 ^c	0,811 ^c	0,034	0,625	< 0,0001	0,065	NS
8_9	303	1,093 ^a	0,964 ^b	0,992 ^d	1,087 ^c	0,022	0,075	0,002	0,007	NS
9_10	338	0,808 ^b	0,906 ^a	0,834 ^c	0,865 ^c	0,040	0,121	0,018	0,631	NS
1_2	24	0,296 ^b	0,385 ^a	0,337 ^c	0,342 ^c	0,006	< 0,0001	< 0,0001	0,977	NS
2_8	98	0,433 ^a	0,416 ^a	0,416 ^d	0,438 ^c	0,005	0,196	0,194	0,009	NS
8_10	303	1,031 ^a	0,950 ^a	0,958 ^d	1,037 ^c	0,019	0,017	0,084	0,008	NS

Las medias con letras distintas son significativamente diferentes a $P < 0.05$. *a, b Efecto del tipo de verraco terminal; c, d: Efecto del sexo.

*SEM = Error estándar de la media (n=183 para GMD 1_2, 115 para GMD 2_3, 113 para GMD 3_4, 114 para GMD 4_5, 150 para GMD 5_6, 149 para GMD 6_7, 141 para GMD 7_8, 127 para GMD 8_9, 108 para GMD 9_10 y 179 para GMD 2_8, 150 para GMD 8_10).

** Probabilidad de la covariable del PV1.

b).- Parámetros de composición corporal.

Sin influencia del PV1, los valores promedio de PL observados en distintas edades aparecen en la Tabla 5.41, los valores obtenidos por el LOTE A (verraco DT) fueron significativamente ($p < 0,05$) mayores que los de DTGIM en todos los casos. De la misma manera, las hembras con respecto los machos ($p < 0,05$), excepto desde los 303 días.

Tabla 5.39. Efecto del sexo (S), tipo de verraco terminal (VT) y sus interacciones, sobre sobre la PL (mm) observada a distintas edades a lo largo del crecimiento

PL, mm	Edad, d	A (120)	B (106)	Hembra (107)	Macho (119)	SEM	COV PV1	valor p		
								VT	S	VT*S
4	168	34,8 ^a	33,9 ^b	34,9 ^c	34,0 ^d	0,313	0,497	0,073	0,005	NS
5	200	36,5 ^a	35,5 ^a	36,4 ^c	35,6 ^d	0,332	0,927	0,054	0,039	NS
6	237	38,6 ^a	34,1 ^b	36,9 ^c	36,2 ^d	0,426	0,177	< 0,0001	0,005	NS
7	278	39,1 ^a	37,0 ^b	39,0 ^c	37,3 ^d	0,383	0,714	0,001	0,002	NS
8	303	40,7 ^a	37,5 ^b	39,5 ^c	38,7 ^c	0,435	0,303	0,000	0,108	NS
10	352	45,3 ^a	40,8 ^b	43,6 ^c	42,7 ^c	0,512	0,404	< 0,0001	0,068	NS

Medias con letras distintas, significativamente diferentes a $P < 0.05$. *a, b: Efecto del tipo de verraco terminal; c, d: Efecto del sexo.

*SEM = Error estándar de la media (n=107 para PL 4, 105 para PL 5, 112 para PL 6, 114 para PL 7, 107 para PL 8, 110 para PL 10).

** Probabilidad de la covariable del PV1.

Sin influencia del PV1, se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) el EGD observado en cada control por efecto del tipo de verraco terminal en todos los controles realizados, excepto con la edad de 303 días. En cambio, no hubo diferencias por efecto del sexo en ningún momento.

Tabla 5.40. Efecto del sexo (S), tipo de verraco terminal (VT) y sus interacciones, sobre sobre la EGD (mm) observado a distintas edades a lo largo del crecimiento

EGD, mm	Edad, d	valor p								
		A (120)	B (106)	Hembra (107)	Macho (119)	SEM	COV PV1	VT	S	VT*S
4	168	10,7 ^b	15,3 ^a	12,6 ^c	13,1 ^c	0,391	0,855	< 0,0001	0,147	NS
5	200	15,6 ^b	16,8 ^a	15,8 ^c	16,6 ^c	0,378	0,946	0,026	0,160	NS
6	237	21,6 ^a	17,8 ^b	19,0 ^c	20,4 ^c	0,502	0,414	< 0,0001	0,154	NS
7	278	30,3 ^a	22,9 ^b	25,7 ^c	27,6 ^c	0,670	0,972	< 0,0001	0,161	NS
8	303	34,6 ^a	33,5 ^a	33,7 ^c	34,3 ^c	0,662	0,576	0,545	0,494	NS
10	352	49,7 ^b	56,3 ^a	51,5 ^c	54,3 ^c	0,821	0,602	< 0,0001	0,093	NS

Las medias con letras distintas son significativamente diferentes a $P < 0.05$. *a, b: Efecto del tipo de verraco terminal; c, d: Efecto del sexo.

*SEM = Error estándar de la media (n=107 para EGD 4, 103 para EGD 5, 112 para EGD 6, 105 para EGD 7, 101 para EGD 8, 110 para EGD 10).

** Probabilidad de la covariable del PV1.

5.3.2.- Crecimiento potencial, lento y compensatorio

Los resultados productivos de crecimiento obtenidos en nuestro estudio difieren de los publicados por Usero *et al.*, (2016), de acuerdo con las diferencias que existen entre los sistemas de producción utilizados. Donde el estudio de crecimiento de Usero *et al.*, (2016) se desarrolló sobre un cerdo ibérico (50% duroc) criado en condiciones intensivas (alojados a 2 m² / cerdo, pienso *ad libitum* y de alta concentración de nutrientes) y en un ciclo corto de producción (6,7 meses de crecimiento-engorde y 110 kg peso de canal al sacrificio como objetivo). Mientras que, los cerdos de nuestro estudio alcanzaron valores de 30,97 ± 5,53, 54,03 ± 9,15 y 118,38 ± 13,36 kg de PV a los 98, 168 y 303 días de edad, respectivamente; los del estudio de Usero *et al.*, (2016), alcanzaron valores de 44,86 ± 4,57, 95,84 ± 9,08 y 147,60 ± 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 ± 4,02 y 34,02 ± 6,04 mm de EGD, respectivamente, mientras que Usero *et al.*, (2016), midiendo con el mismo procedimiento, registró a los 163 y 205 días de edad, valores de 21,54 ± 4,42 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 cantidad de la reducción del crecimiento provocada por la restricción de la alimentación es proporcional al nivel de restricción (Daza *et al.*, 2008), donde observaron en cerdos *large white* (*large white* x *landrace*) de entre 33 kg y 62 kg, que la reducción 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 ganancia de peso (GMD), respectivamente. Excepto en la fase 2, en la cual los animales 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 valores inferiores a la temperatura termo neutra del animal, y de acuerdo con Daza *et al.*, (2008) que observó que animales en de restricción alimentaria y expuestos a temperaturas medias de 13 °C, la reducción de la velocidad de crecimiento fue del 52%. Además, en esta línea, varios estudios demuestran 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* (Daza, 1988; Whittemore, 1993); 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 $166,78 \pm 17,69$ kg de PV, $0,849 \pm 0,396$ kg/d de GMD y $52,92 \pm 8,42$ mm de EGD a los 352 días de vida, recuperando completamente el retraso de crecimiento y LD de las fases de restricción de pienso. 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 suponía 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 LD tras una restricción energética (Ayuso, 2016, Daza *et al.*, 2008; Pugliese *et al.*, 2005).

5.3.3.- Modelo de crecimiento del cerdo ibérico (50% duroc) “Cebo de Campo”

a).- Parámetros de crecimiento observados.

Para cada uno de los dos lotes experimentales, se recogieron repetidamente a lo largo del tiempo los datos de rendimiento productivo contemporáneo de los cerdos (mediciones individuales de PV, GMD, PL, EGD, y mediciones por lote del CMD). Los resultados del análisis estadístico de estas mediciones aparecen en la Tabla 5.43. Este conjunto de datos de valores de medios y desviaciones estándar se utilizaron para caracterizar y realizar el ajuste de optimización matemática del patrón de crecimiento y consumo de pienso de este estudio.

Tabla 5.41. Media \pm desviación estándar de los parámetros de crecimiento observados

Fase	Edad, d	PV, kg	GMD, kg/d	CMD, kg/d	PL, mm	EGD, mm
1	24	5,81 \pm 1,18	NA	NA	NA	NA
	98	30,97 \pm 5,53	0,339 \pm 0,075	1,07 \pm 0,23	NA	NA
2	131	43,70 \pm 8,88	0,389 \pm 0,145	1,46 \pm 0,33	NA	NA
	168	54,03 \pm 9,15	0,280 \pm 0,108	1,78 \pm 0,66	34,38 \pm 3,11	12,85 \pm 4,02
3	200	66,29 \pm 8,87	0,384 \pm 0,143	1,36 \pm 0,12	35,95 \pm 3,25	16,20 \pm 3,77
	237	79,89 \pm 10,94	0,367 \pm 0,167	1,58 \pm 0,07	36,51 \pm 4,40	19,74 \pm 4,98
	278	99,03 \pm 13,41	0,459 \pm 0,129	2,22 \pm 0,24	38,11 \pm 3,96	26,70 \pm 6,60
	303	118,38 \pm 13,36	0,790 \pm 0,389	2,79 \pm 0,40	39,08 \pm 4,30	34,02 \pm 6,04
4	338	155,57 \pm 17,14	1,039 \pm 0,245	3,66 \pm 0,65	NA	NA
	352	166,78 \pm 17,69	0,849 \pm 0,396	5,20 \pm 1,21	43,13 \pm 4,97	52,92 \pm 8,42

*NA: datos no disponibles.

b).- 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 aparecen en la Tabla 5.44. El nivel de ajuste calculado del mínimo de la suma de diferencia de cuadrados (suma Dif²), fue de 1.121,80 y una precisión explicativa de la variable del patrón (R²), de 98,5%.

Tabla 5.42. Parámetros de las ecuaciones del modelo

Parámetros		
Peso vivo a la madurez*, kg		PVm = 218,0
Precocidad*		k = 0,00977
Edad a la máxima ganancia*, d		EDADPI = 162,4931
Tasa de caída de crecimiento,	Fase 2 (F2), %	-60
	Fase 3 (F3), %	-46
Tasa de incremento de crecimiento,	Fase 4 (F4), %	100
Ganancia de peso total, kg		160,97
Consumo de pienso total, kg		692,18
Índice de conversión		4,30
Consumo, EM (kcal/kg)	a	119229,75
	b	6,76
	c	1,01
Cantidad de pienso aportada (ración)	Fase 2, % of PV _i	2,47
	Fase 3, % of PV _i	2,00
Energía del pienso calculada, ME (kcal/kg)	Pienso de crecimiento	3,165
	Pienso de engorde I	3,308
	Pienso de engorde II	3,381

*Parámetros de la ecuación de Gompertz: $PV(Edad) = PV_m * e^{-e^{-k*(Edad-EDADPI)}}$

c).- Parámetros de crecimiento y metabólicos predichos.

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 obtenido estimó la evolución ajustada de valores de PV en función del tiempo y el nivel de ración de pienso (Tabla 5.45), describiendo una curva multifase a lo largo del crecimiento (Gráfico 5.17). Del mismo modo, se describió la curva ajustada de GMD, también multifase, y la evolución de la GMD en función del PV (Gráfico 5.17). Los cambios de fases se distinguieron entre sí por los marcados cambios en la tasa de crecimiento diario (GMD).

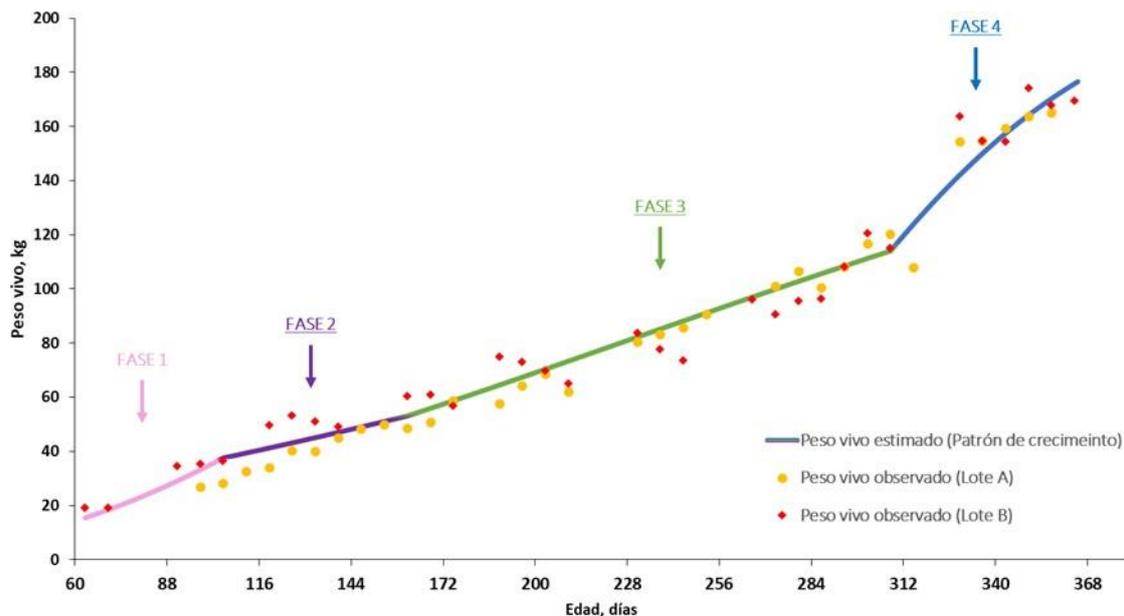
Tabla 5.43. Parámetros de crecimiento y metabólicos predichos

Fase	Age, d	PV, kg	GMD, g/d	CMD ¹ , kg/d	IC	EN ² , MJ Consum.	ENm ³ , MJ Neces.	PV _v , kg	P, g	L, g	P/L
1	70	18,4	438,6	0,780	1,78						
	85	25,8	531,7	1,088	2,05						
	100	34,4	615,8	1,510	2,45	21,4	7,0	32,2	87,7	298,6	0,29
	105	37,6	640,8	1,646	2,57	23,3	7,4	35,2	91,3	333,1	0,27
2	106	37,8	258,3	0,936	3,63	13,2	6,2	35,5	36,8	151,1	0,24
	120	41,5	268,5	1,028	3,83	10,1	6,1	39,0	38,3	71,9	0,53
	135	45,6	278,4	1,129	4,06	11,1	6,5	42,9	39,8	86,0	0,46
	150	49,9	287,1	1,234	4,30	12,1	6,9	46,9	41,1	101,1	0,41
	161	53,1	292,6	1,313	4,49	12,9	7,2	50,0	41,9	112,7	0,37
	162	53,5	397,3	1,067	2,69	10,5	6,9	50,4	56,9	44,6	1,28
3	175	58,7	407,4	1,172	2,88	11,5	7,4	55,4	58,4	58,2	1,00
	190	64,9	416,2	1,295	3,11	12,7	7,9	61,3	59,8	75,1	0,80
	205	71,2	421,8	1,421	3,37	14,0	8,4	67,3	60,7	93,0	0,65
	220	77,5	424,6	1,548	3,65	15,2	8,9	73,4	61,1	111,8	0,55
	235	83,9	424,6	1,675	3,95	16,5	9,4	79,5	61,2	131,3	0,47
	250	90,3	421,9	1,802	4,27	19,0	10,0	85,6	60,9	180,3	0,34
	251	90,7	421,7	1,810	4,29	19,1	10,1	86,0	60,9	181,8	0,33
	265	96,6	417,0	1,927	4,62	20,3	10,5	91,7	60,2	202,7	0,30
	280	102,8	410,0	2,051	5,00	21,6	11,0	97,7	59,3	225,2	0,26
	295	108,8	401,2	2,172	5,41	22,9	11,4	103,5	58,1	247,7	0,23
	296	109,2	400,6	2,180	5,44	23,0	11,5	103,9	58,0	249,2	0,23
	308	114,0	392,3	2,275	5,80	24,0	11,8	108,5	56,8	267,1	0,21
4	309	115,4	1444,6	4,646	3,22	49,0	15,0	109,9	209,2	703,2	0,30
	325	137,0	1256,7	5,451	4,34	59,6	17,3	130,8	182,5	942,2	0,19
	340	154,3	1056,1	6,080	5,76	66,5	18,8	147,5	153,6	1103,8	0,14
	355	168,5	860,3	6,590	7,66	72,1	20,1	161,3	125,3	1239,3	0,10
	365	176,5	740,4	6,871	9,28	75,2	20,8	169,0	107,9	1315,5	0,08

¹ Consumo estimado ad libitum por el modelo con la ecuación: ME (kcal/día) = 10,563 x (1-exp(exp(-4.04)xPV)) (NRC, 2012) y EM, concentración del pienso. ²EN, MJ Consumidos. ³EN_m, MJ Necesidades.

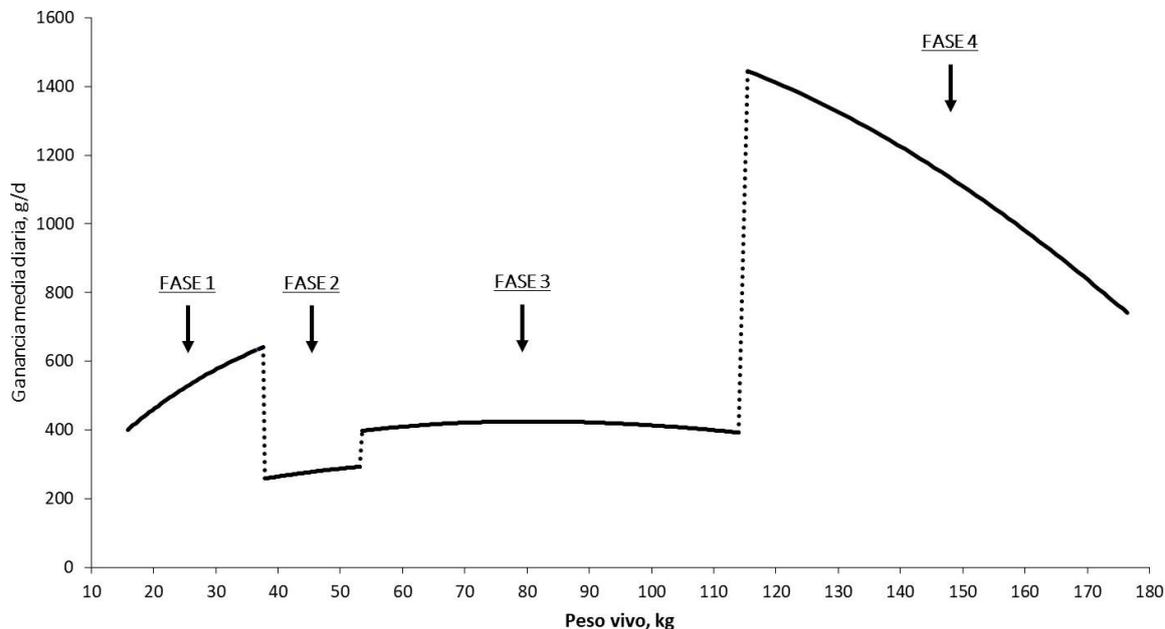
Además, en un segundo y tercer ajuste, se estimó la evolución de valores del CMD (kg/d) y IC (kg/kg) del pienso a lo largo del tiempo durante el crecimiento (Tabla 5.45), que describieron también una marcada curva multifase (Gráfico 5.18). Se observó, que el nivel de consumo de pienso dirigía el ritmo de crecimiento (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 los requerimientos 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 expresó 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.

Gráfico 5.17. Curva de crecimiento observada *versus* estimada



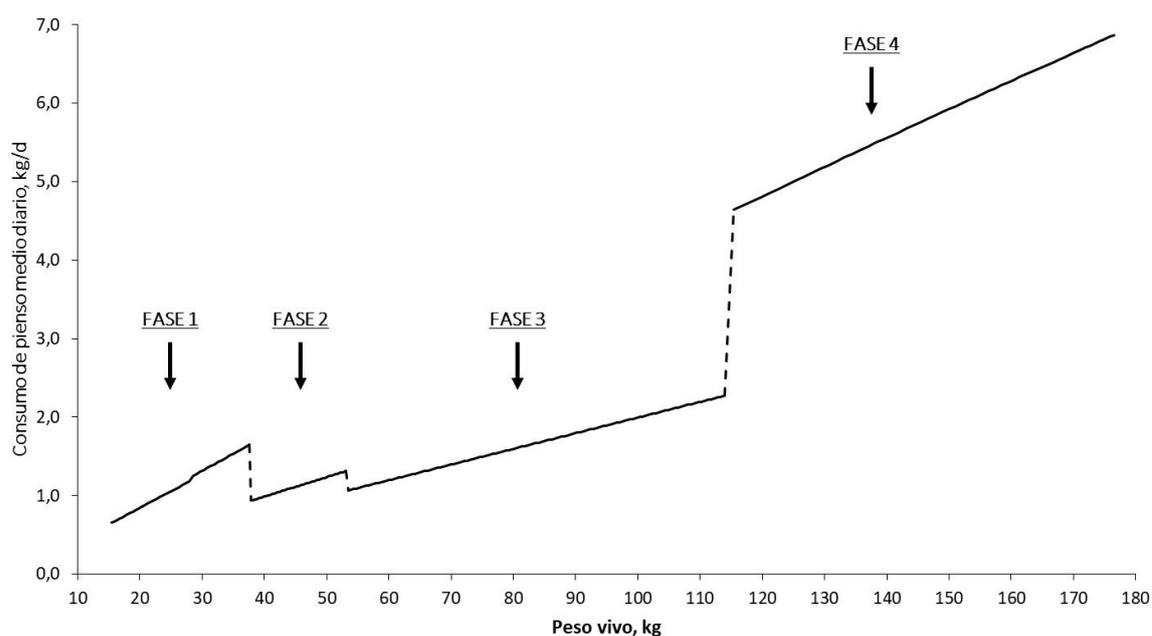
El Gráfico 5.18 representa la evolución del ritmo de crecimiento diario (GMD) con respecto del PV calculada por el modelo. Se identifica perfectamente los cambios de ritmo de crecimiento de cada fase.

Gráfico 5.18. Curva de la evolución de la ganancia de peso estimada por el modelo



El Gráfico 5.19 representa la de evolución del ritmo de consumo diario de pienso (CMD) con respecto del PV calculada por el modelo. Se identifica perfectamente los cambios de aporte de pienso de cada fase.

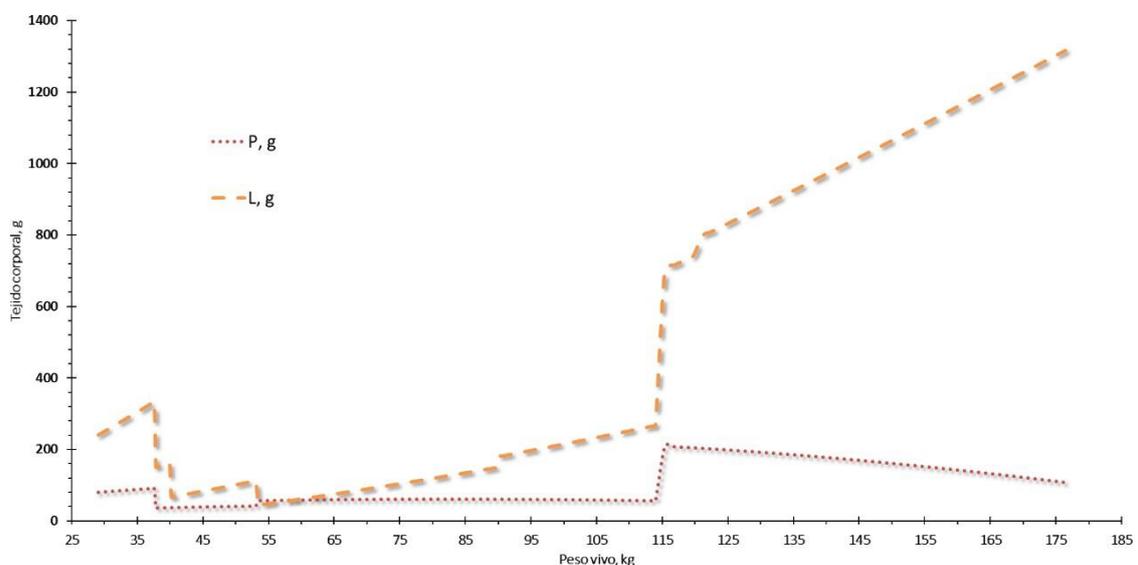
Gráfico 5.19. Curva del consumo de pienso medio diario estimado



El ajuste del modelo también permitió el cálculo estimado instantáneo de la energía (EN, MJ) consumida, las necesidades diarias de energía neta para el mantenimiento (EN_m, MJ), incremento del peso vivo vacío (PVv, kg), incremento de la P (g), los L (g) corporales, y la ratio P/L en el tiempo durante las diferentes fases, Tabla 5.45.

La evolución en función del PV de la P (g) y L (g) corporales, los cuales aparecen en el Gráfico 5.20, identifica perfectamente los cambios de fase debido al aporte diferencial de pienso en cada una de ellas. El animal crece acumulando tejidos corporales durante todo el proceso: Fase 1, hasta los 37,6 kg de PV, donde se obtiene un máximo de 91,3 y 331,1 gramos de P y L respectivamente a los 105 días de edad. Los cambios de pienso aportado en la Fase 2 desde los 37,8 a los 53,1 kg PV, provocan una menor acumulación de la P y L corporales, con respecto del potencial genético yendo de valores de 36,8 a los 41,9 y de 151,1 a los 112,7 g de P y L respectivamente. Al inicio de la Fase 3 la acumulación de L se reduce, de 44,6 a 267,1 g. En cambio, la deposición de proteína mantiene una tendencia creciente hasta los 61,2 g, a los 83,9 kg PV, momento el cual cambia a la tendencia para reducirse hasta los 56,8 g al final de la fase. Fase 4 cambian el ritmo de crecimiento al 100 % de su potencial genético, donde se describió un nuevo punto de inflexión en la curva desde el principio de la fase tanto para DP como la DL. La acumulación de L aumenta, desde los 703,2 gramos a los 115,4 kg PV, hasta los 1315,5, a los 176,5 kg de PV, y un aumento de la PD, acumulando 209,2 gramos a los 115,4 kg PV, hasta los 107,9 gramos al día a los 176,5 kg de PV. Nos llamó la atención tasas tan elevadas de LD, probablemente por el carácter adipogénico de la raza, ya que hemos podido encontrado en la literatura tasas de PD por encima de 1.000 g/d.

Gráfico 5.20. Curva de reparto de la energía consumida en P (g) y L (g), en función del PV



El patrón de crecimiento lento diferencial 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 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 cantidad y concentración energética del pienso suministrado, optimizando el coste por kg de carne producida.

Tabla 5.44. Diferencias entre parámetros de diferentes modelos de crecimiento ibérico (50% duroc)

Modelo	PV _m	EDADPI	k	ibérico tipo	duroc tipo	Alojamiento	Alimentación
Crecimiento convencional	236,2	148,00	0,01000	Retinto	Eficiente	Intensivo	<i>Ad libitum</i>
<u>Crecimiento lento multifase</u>	218,0	162,49	0,00977	Retinto	Local	Extensivo	Racionado

* PV_m: Peso vivo a la madurez, kg; K: Precocidad; EDADPI: Edad a la máxima ganancia, d.

Ya en cerdos de genéticas comerciales existen diferencias entre los diferentes genotipos en cuanto a su capacidad de deposición de tejido magro y graso (Gu *et al.*, 1992; de Lange *et al.*, 2003; Kloareg *et al.*, 2007); estas diferencias pueden ser responsables del diferente PV_m y composición química del PV_v. Estas diferencias imposibilitan el uso de las ecuaciones generales derivadas de otras razas cuando se requiere precisión en la estimación del modelo (Quiniou y Noblet, 1995).

5.3.4.- Parámetros de calidad de canal

Los parámetros individuales de calidad de canal obtenidos de: PV, peso canal neto, peso jamón entero, peso paleta entera y peso lomo, se analizó mediante un análisis estadístico descriptivo, y los resultados aparecen en la Tabla 5.47. Se encontró que para todos estos parámetros una dispersión relativamente baja.

Tabla 5.45. Parámetros de calidad de canal, cerdo ibérico (50% duroc) “Cebo de Campo”

	Edad Sacrificio	PV Sacrificio	Peso Canal Neto (Caliente)	Peso Jamón Entero	Peso Paleta Entera	Peso Lomo
No.	208	208	208	208	208	208
Mínimo	345	133,3	113,6	22,9	16,4	3,5
Máximo	364	222,6	175,2	34,3	24,6	7,0
Mediana	355	168,4	133,7	28,7	19,9	4,9
Media	355	170,6	135,6	28,6	20,1	4,9
Varianza (n-1)	9,1	220,3	129,7	6,3	2,7	0,4
Desviación típica (n-1)	3,0	14,8	11,4	2,5	1,6	0,7
Coef. variación, %	0,8	8,7	8,4	8,7	8,2	13,7
SEM	0,2	1,0	0,8	0,2	0,1	0,0

En la Tabla 5.48, se recoge el resultado de los valores medios obtenidos del rendimiento de la canal y las piezas nobles (jamones, paletas y lomos) pesados en la sala de despiece en frío, 24 horas después del sacrificio del animal, por verraco terminal y sexo. Y además, la probabilidad estadística del efecto del verraco terminal, el sexo, la interacción verraco terminal y sexo, y el PV al sacrificio sobre los mismos. No se observó interacción entre el tipo de verraco terminal y el sexo sobre estos resultados. Y si hubo efecto significativo ($p < 0,05$) tanto por efecto del tipo de verraco terminal como por el sexo en los valores medios obtenidos de rendimiento de canal, jamón y lomo, teniendo mayor rendimiento de canal la descendencia del verraco DTGIM con respecto a la de DT. Por el contrario el DT obtuvo mayor rendimiento de jamón y lomo que DTGIM. Sobre el rendimiento de paleta no se observaron diferencias por efecto por el verraco terminal. En cuanto al efecto del sexo sobre estos resultados, las hembras obtuvieron mejores valores de los cuatro parámetros. El $PV_{\text{sacrificio}}$, utilizado como covariable en el ANCOVA, afectó de manera significativa ($p < 0,05$) sobre los resultados de los cuatro parámetros, excepto el del rendimiento de canal.

Tabla 5.46. Efecto del sexo (S), tipo de verraco terminal (VT) y sus interacciones, sobre rendimiento (Rdto.) de parámetros de calidad de canal

Parámetros	valor p								
	A (118)	A (90)	Hembra (99)	Macho (109)	SEM	COV PVS	VT	S	VT *S
Rdto. Canal Caliente, %	78,08 ^b	80,72 ^a	79,57 ^c	78,90 ^d	0,243	0,242	< 0,0001	0,010	NS
Rdto. Jamón, %	21,75 ^a	21,34 ^b	21,87 ^c	21,30 ^d	0,137	0,000	0,001	0,021	NS
Rdto. Paleta, %	15,11 ^a	15,17 ^a	15,07 ^c	15,19 ^d	0,085	< 0,0001	0,432	0,027	NS
Rdto. Lomo, %	3,82 ^a	3,47 ^b	3,75 ^c	3,59 ^c	0,043	0,043	< 0,0001	0,013	NS

Las medias con letras distintas son significativamente diferentes a $P < 0.05$. *a, b: Efecto del tipo de verraco terminal y c, d: Efecto del sexo.

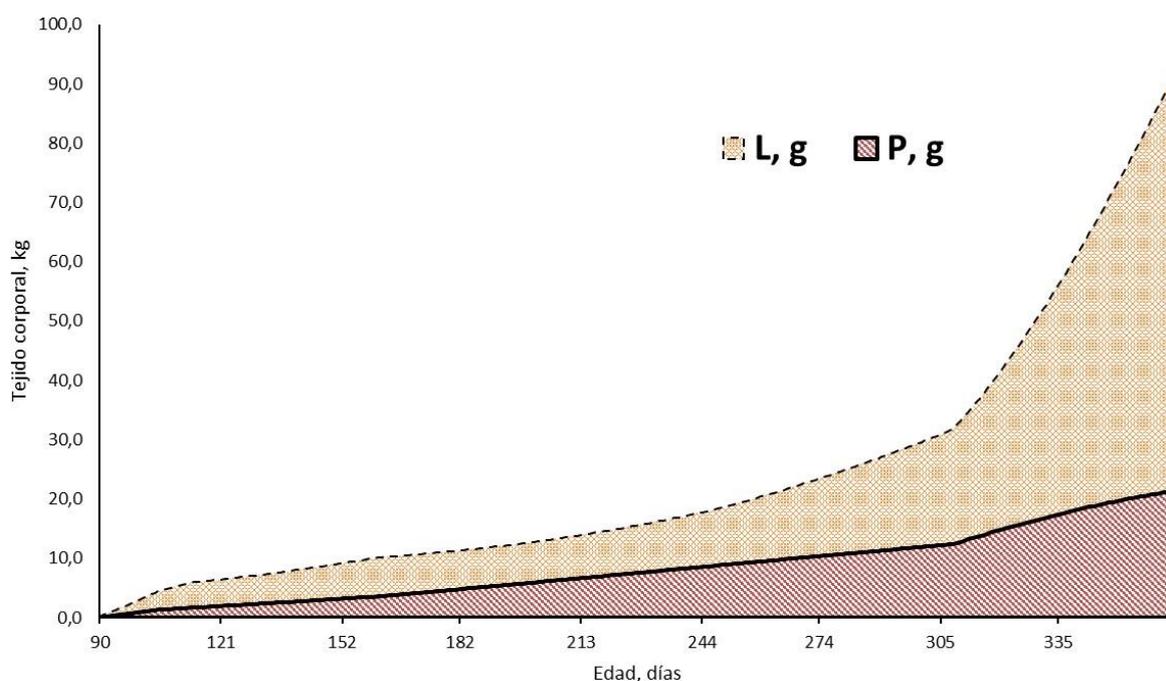
*SEM = Error estándar de la media (n=99 para rdto.canal y 109 para rto.jamón, rto.paleta y rto.lomo).

** Probabilidad de la co-variable del $PV_{sacrificio}$ PVS.

El modelo cálculo la evolución en el tiempo de la acumulación de tejido corporal, cuantificando la grasa y proteína acumuladas. Esta retención de P (g) y L (g) acumulada a lo largo del crecimiento aparece representada de forma gráfica en el Gráfico 5.21. Se puede observar que, en el momento del sacrificio, el PV_v fue de 169,02 kg, la cantidad de proteína acumulada de 21,43 kg y una cantidad de grasa acumulada de 91,85, un 12,7 y un 54,7 % del PV_v respectivamente.

Los valores de los parámetros de calidad de canal obtenidos fueron óptimos técnico-económico, para la elaboración de productos curados y carne fresca de alto valor gastronómico.

Gráfico 5.21. Curva de la evolución estimada por el modelo de la P (kg) y L (kg) corporales en función de la edad, acumulada



5.3.5.- Efecto de aditivos antioxidante sobre los rendimientos del crecimiento y calidad de canal

No se observaron diferencias significativas en los rendimientos de crecimiento en la Fase 4 del experimento entre los dos LOTES experimentales, A y B, donde el pienso de engorde II del LOTE B contenía 500 ppm extra de antioxidantes (INGASO QTMEAT®), con respecto al del LOTE A. Por lo que el tratamiento extra de antioxidantes en el LOTE B no tuvo ningún efecto en los resultados finales de los parámetros zootécnicos obtenidos, de acuerdo con (Corino *et al.*, 1999), ni el rendimiento de los parámetros de canal. De acuerdo con (Corino *et al.*, 1999; NRC, 2012), donde observó que para cerdos de cebo *hybrid golland* entre 120 a 165 kg alimentados con distintos niveles de vitamina E como suplemento del pienso no obtuvo diferencias significativas en los rendimientos de crecimiento, pero si los animales con mayor inclusión (300 ppm de vitamina E), mejoraron el índice de oxidación de las grasas (TBARS), mejorando las cualidades organolépticas de la carne y el rendimiento de despiece de la canal debido al efecto protector de las membranas celulares del antioxidante. En la actualidad, está claro que hay que cubrir adecuadamente las necesidades de nutrientes antioxidantes para la protección del cerdo y una producción de buena calidad, estableciendo sus sinergias en términos de crecimiento y salud del cerdo. Los antioxidantes son un grupo de sustancias presentes en bajas concentraciones en relación con las posibles moléculas a oxidarse, que retardan o previenen su oxidación así como la formación de radicales libres (Thomas *et al.*, 1994).

5.3.6.- Parámetros de calidad de carne

Los principales parámetros de calidad de carne estudiados en esta tesis fueron: parámetros físico-químicos, en particular, el contenido en GIM y la composición de AG. Ya que por un lado, la GIM se relaciona positivamente con la calidad de la carne, al enriquecer sus propiedades sensoriales aumentando la aceptación del consumidor (Fernández *et al.*, 1999b). Afecta a la ternera, jugosidad y sabor de la carne de cerdo (Fernández *et al.*, 1999a).

Y el perfil de AG es importante diferentes atributos de la calidad los productos cárnicos, de especial importancia en la producción de cerdo ibérico:

- a) A nivel tecnológico, ya que puede estar ligado a problemas de oxidación lipídica, migración de agua o textura de la grasa.
- b) Organoléptico, relacionado con la maduración, sabor y olor (Chizzolini *et al.*, 1998; López-Bote, 1998)
- c) Sensorial, afectando al aspecto “del corte”, brillo, y fluidez (Gómez-Nieves y Robina, 2005).

d) En cualidades funcionales para la salud humana, especialmente en la relación de ácidos grasos-poliinsaturados omega-6: omega-3, que cuando se encuentran en una baja proporción omega6: omega-3 muestran propiedades antiinflamatorias con un fuerte efecto preventivo contra los síntomas de colitis ulcerosa (Fernández *et al.*, 2020).

a).- Parámetros fisicoquímicos:

Los resultados medios y la probabilidad estadística (ANOVA) del efecto del verraco terminal/ tratamientos antioxidantes, el sexo, la interacción verraco terminal y sexo, sobre los parámetros fisicoquímicos de calidad de carne aparecen en la Tabla 5.49.

El % Humedad está correlacionado positivamente con el contenido de GIM, de esta manera, las muestras de nuestro estudio presentaron un elevado valor tanto de % Humedad como graso. El efecto del verraco terminal afectó significativamente ($p < 0,05$) sobre el % Humedad y no el del sexo, se observaron valores mayores en las muestras del LOTE A. E (68,64 %) que en las del LOTE B (67,80 %).

Mientras que para el contenido de proteína bruta de la materia húmeda (PB H, %) y proteína bruta de la materia seca (PB MS; %), no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$) por efecto del verraco terminal, y si ($p < 0,05$) por efecto del sexo.

La oxidación lipídica es la principal causa del deterioro de la carne. El sexo no tuvo efecto sobre los resultados de índice de oxidación de las grasas (TBARS), sin embargo, las muestras del LOTE A, obtuvieron valores significativamente ($p < 0,05$) mayores (0,20) que las del LOTE B (0,17). Estas diferencias no pueden ser atribuibles al tipo de verraco finalizador, ya que DTGIM fue más graso y sería más susceptible al deterioro, pero este LOTE B, recibió un extra de contenido de antioxidantes en el pienso de acabado (pienso de engorde II) que hizo proteger está carne significativamente ($p < 0,05$) más que la del LOTE A. De cualquier modo, los valores obtenidos de TBARS para todos los casos estaban lejos de 0,5, considerado valor crítico para la estabilidad oxidativa de la carne (Wood *et al.*, 2008).

La capacidad de retención de agua (CRA) se corresponde con valores normales y adecuados para una correcta transformación y conservación de la carne. No se encontraron diferencias significativas ni por efecto del verraco terminal/ tratamientos antioxidantes, ni por el sexo para la CRA. Se obtuvieron valores elevados propios del cruce genético. Sin embargo, Usero *et al.* (2016a), en la modelización de cerdo ibérico (50% duroc) "Cebo" sacrificado a 150 kg PV y 225 días de edad encontraron valores más elevados de CRA obtenidos por la misma técnica, 80,19 %, mientras que en este trabajo, 72,26 y 70,66 %, para el LOTE A y LOTE B, respectivamente. Probablemente, debido a un efecto de la congelación-descongelación en el transporte de las muestras.

El COLOR de la carne es uno de los primeros índices sensoriales en la calidad de carne de cerdo y se considera un parámetro directo en la aceptabilidad del consumidor (Needham y Hoffman, 2015). Los resultados promedio obtenidos de color, podemos señalar, que se trata de carnes con elevada luminosidad, L*, y un color rojo, A*, intenso, de acuerdo con el genotipo ibérico (50% duroc) (Estévez *et al.*, 2003). El valor obtenido para la coordenada b*, amarillo, puede estar relacionado con el alto grado de engrasamiento y/o una mayor oxidación de estas que presentan las muestras.

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) por efecto del sexo para los resultados de COLOR, sin embargo, si por efecto del verraco terminal/ tratamientos antioxidantes, las muestras de animales del LOTE A obtuvieron valores significativamente ($p < 0,05$) mayores para L*, A*, y B*, (54,09; 10,74; 6,08) que las del LOTE B (52,25; 9,77; 4,94). En las muestras del LOTE A se observó mayor luminosidad y un rojo más intenso debido al menor contenido de GIM y mayor contenido de mioglobina respectivamente debido a una componente genética (Weiler *et al.*, 1995; Serra *et al.*, 1998) o el régimen extensivo (Lindahl *et al.*, 2001) y un amarillo más intenso debido a una mayor oxidación de la GIM, que el LOTE B, por su mayor deterioro al tener menor contenido de antioxidantes en el pienso de acabado. De acuerdo con los valores obtenidos de L*, A*, y B* por la misma técnica que en este trabajo, 49,93, 10,79 y 2,79 respectivamente por Usero *et al.* (2016b) en cerdo ibérico (50% duroc) de “Cebo” sacrificado a 150 kg PV y 225 días, animales con menor nivel de engrasamiento (8,02 % GIM H). Y a diferencia de los valores obtenidos en estudios previos, en cerdo blanco de cebo, criado en intensivo, sacrificado con 7 meses y 125 kg PV, de 50,38, 6,20 y 1,03 para L*, A*, y B*, respectivamente.

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) por efecto del sexo para los resultados de pH, sin embargo, si por efecto del verraco terminal/ tratamientos antioxidantes, del LOTE A obtuvieron valores mayores (5,83) que las del LOTE B (5,75), la carne de estos últimos se estabilizó mejor debido al contenido extra de antioxidantes de la dieta que recibieron en el pienso de acabado (pienso de engorde II), de acuerdo con (Mullen y Troy, 2005) pH alcanzados 24 horas post-mortem entre 5,5-5,75 se consideran los más deseables.

En cuanto a los valores de vitamina E alfa-tocoferol determinada en músculo, *Longissimus dorsi*, no encontramos diferencias significativas ($p > 0,05$), ni por efecto del tipo de verraco terminal, ni por el sexo, ni por la diferencia en la inclusión de antioxidantes en el pienso de engorde II (acabado) entre el LOTE A y B, 16,16 y 16,17 ppm en MS respectivamente, de acuerdo con los valores encontrados por Isabel *et al.* (1999a), de 16,87 ppm en MS, en músculo *Biceps femoris*, de cerdo blanco suplementado con 200 ppm de vitamina E sintética en el pienso durante los últimos 42 días de vida. Ya que, valores altos de vitamina E en la dieta, sirven de estrategia para aumentar la estabilidad oxidativa y mejoran las características sensoriales de los jamones curados (Isabel *et al.*, 1999b), pero aunque la vitamina E tiene

muy poca toxicidad, por mucho que se aumente sus niveles de inclusión en el pienso, alcanza un punto que no responde a una mayor acumulación en el músculo (Bonnette *et al.*, 1990). Y que, de esta manera, se observó en nuestro estudio, donde el pienso de acabado de engorde II para el LOTE A incluía 150 ppm de 150 ppm Vit E. Sintética y para el LOTE B, 150 ppm Vit. E sintética + 18,2 ppm de Vit. E natural, sin encontrarse posteriormente diferencias significativas ($p < 0,05$) de Vit. E en el contenido muscular postmortem.

Por eso, más allá de la vitamina E, para aumentar capacidad antioxidante que puede aportar el pienso en los productos cárnicos, se siguió la estrategia de estudiar combinaciones sinérgicas de otras moléculas con características antioxidantes, junto con la vitamina E.

Tabla 5.47. Efecto del verraco terminal duroc, la suplementación extra de antioxidantes y el sexo sobre parámetros de calidad de carne fresca, *Longissimus thoracis et lumborum*

	p							
	A (59)	B (61)	Hembra (52)	Macho (68)	*SEM	VT	S	VT*S
HUMEDAD, %	68,64 ^a	67,80 ^b	68,46	68,02	0,305	0,025	0,190	NS
PB H, %	21,54	21,57	21,90 ^c	21,30 ^d	0,125	0,900	0,001	NS
PB MS, %	69,00	67,51	69,74 ^c	67,09 ^d	0,925	0,147	0,021	NS
GIM H, %	10,07	9,41	9,20	10,14	0,408	0,271	0,100	NS
GIM MS, %	25,80 ^b	29,62 ^a	26,68 ^d	28,56 ^c	0,884	0,000	0,040	NS
pH	5,83 ^a	5,75 ^b	5,77	5,81	0,023	0,010	0,236	NS
VIT E MS, ppm	16,16	16,17	16,15	16,17	0,380	0,989	0,976	NS
L* (I)	54,09 ^a	52,25 ^b	52,54	53,62	0,576	0,013	0,191	NS
A*(I)	10,74 ^a	9,77 ^b	10,28	10,22	0,210	0,000	0,570	NS
B*(I)	6,08 ^a	4,94 ^b	5,45	5,54	0,195	< 0,0001	0,970	NS
CRA	72,26	70,66	71,32	71,54	8,563	0,407	0,871	NS
TBARS	0,20 ^a	0,17 ^b	0,18	0,19	0,030	0,030	0,881	NS

Parámetros L*: brillo, a*: rojo-verde, b*: amarillo-azul; CRA: capacidad de retención de agua (%); pH: medida de pH; VIT E TBARS: sustancias reactivas con el ácido Tiobarbitúrico (mg MDA kg⁻¹ carne).

Las medias con letras distintas son significativamente diferentes a $P < 0.05$. *a, b: Efecto del tipo de verraco terminal y c, d: Efecto del sexo.

*SEM = Error estándar de la media (n=61 para Humedad, PB H, PB MS, n= 52 para GIM H, GIM MS, VIT E, L, A y B, n= 59 para pH, CRA y TBARS).

b).- Contenido de grasa intramuscular, %.

Los resultados medios y la probabilidad estadística (ANOVA) del efecto del verraco terminal/ tratamientos antioxidantes, el sexo, la interacción verraco terminal y sexo, sobre el contenido de GIM de la carne, aparecen en la Tabla 5.49.

Los resultados obtenidos en este trabajo de los valores en el contenido de GIM MS (%), en cerdos

ibéricos (50% duroc) de “Cebo de Campo”, fueron entre 25,8 y 29,62 %, de acuerdo con los obtenidos por Vázquez-Gómez *et al.* (2018b) y mayores que los publicados por (Barbero *et al.*, 2013) en cerdo ibérico (50% duroc) de “Cebo”. En cuanto a los valores obtenidos en el contenido de GIM H (%), fueron entre 9,41 y 10,07 %, mayores que los 8,02 obtenidos por (Usero *et al.*, 2016b), (Serrano *et al.*, 2008) y (Egea *et al.*, 2016) en cerdo ibérico (50% duroc) de “Cebo”.

Según varios autores, el contenido de GIM se ve afectada principalmente por el sexo, la edad y la raza, además de por factores ambientales como la alimentación, cambios epigenéticos, hormonas sexuales y el sistema de producción (Ruiz *et al.*, 1998; Mayoral *et al.*, 1999; Andrés *et al.*, 2001; Serrano *et al.*, 2008; Bosch *et al.*, 2012; Barbero *et al.*, 2013). En este sentido en este estudio, se observó que el verraco terminal afectó significativamente ($p < 0,05$) sobre el contenido de GIM MS, alcanzando valores mayores las muestras de animales que descendían del verraco terminal DTGIM que las de DT, 29,62 % y 25,8, respectivamente. De acuerdo con lo encontrado por Serrano *et al.* (2008) en cerdo ibérico (50% duroc) de “Cebo”, con el uso de diferentes genéticas de verracos duroc como finalizador. Sin embargo, No se encontraron diferencias significativas ni por efecto del verraco terminal, ni por el sexo para el contenido de GIM H (%).

En cuanto al efecto del sexo sobre el contenido de GIM MS (%), se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$), los machos alcanzaron mayores valores que las hembras, 28,56 % y 26,68 % respectivamente. En este sentido, existen publicaciones con resultados contradictorios: Usero *et al.* (2016b) encontraron que las hembras castradas inmunológicamente alcanzaron mayores valores de GIM (%; medido por ultrasonidos) que los machos, 6,28 % y 6,77 % respectivamente; Serrano *et al.* (2008) y Egea *et al.* (2016), estudiaron esta vez, que machos castrados presentaron mayor contenido de GIM (%) que las hembras enteras y (Martínez-Macipe *et al.* 2016).

c).- Composición de AG:

Los resultados medios y la probabilidad estadística (ANOVA) del efecto del verraco terminal/ tratamientos antioxidantes, el sexo, la interacción verraco terminal y sexo, sobre la composición de AG de la grasa subcutánea se presenta en la Tabla 5.48. El verraco terminal/ tratamientos antioxidantes afectó significativamente ($p < 0,05$) para los AG C12:0, C14:0, C16:0, C16:1, C18:0, C18:2, C18:3 y el ratio n6/n3. Sin embargo no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre sexos, ni en la interacción verraco terminal/ tratamientos antioxidantes x sexo.

Tabla 5.48. Efecto del verraco finalizador duroc, la suplementación extra de antioxidantes y el sexo sobre el perfil de AG de la grasa subcutánea

AG ^a	A (59)	B (61)	Hembra (52)	Macho (68)	SEM	valor p		
						VT	Sexo	VT *S
C 12:0	0,08 ^a	0,07 ^b	0,07 ^c	0,08 ^c	0,001	< 0,0001	0,579	NS
C 14:0	1,46 ^a	1,29 ^b	1,37 ^c	1,37 ^c	0,019	< 0,0001	0,652	NS
C 16:0	22,40 ^a	21,61 ^b	22,06 ^c	21,95 ^c	0,136	< 0,0001	0,260	NS
C 16:1	2,16 ^a	1,89 ^b	2,04 ^c	2,00 ^c	0,039	< 0,0001	0,105	NS
C 17:0	0,25 ^b	0,28 ^a	0,25 ^d	0,27 ^c	0,007	0,006	0,018	NS
C 17:1	0,26 ^a	0,25 ^a	0,24 ^c	0,27 ^c	0,007	0,615	0,023	NS
C 18:0	9,89 ^b	10,62 ^a	10,28 ^c	10,25 ^c	0,138	< 0,0001	0,823	NS
C 18:1n-9	53,66 ^a	53,48 ^a	53,55 ^c	53,58 ^c	0,179	0,394	0,942	NS
C 18:2n-6	7,51 ^b	7,94 ^a	7,73 ^c	7,73 ^c	0,054	< 0,0001	0,517	NS
C 18:3n-3	0,57 ^b	0,74 ^a	0,66 ^c	0,65 ^c	0,012	< 0,0001	0,432	NS
C 20:0	0,18 ^a	0,20 ^a	0,18 ^c	0,20 ^c	0,017	0,176	0,228	NS
C 20:1n-9	1,58 ^b	1,64 ^a	1,56 ^d	1,65 ^c	0,022	0,013	0,001	NS
n6/n3	13,17 ^a	10,73 ^b	11,81 ^c	12,02 ^c	0,186	< 0,0001	0,924	NS
SFA ^b	34,26 ^a	34,07 ^a	34,21 ^c	34,13 ^c	0,213	0,436	0,696	NS
MUFA ^c	57,66 ^a	57,26 ^a	57,40 ^c	57,51 ^c	0,192	0,103	0,758	NS
PUFA ^d	8,08 ^b	8,69 ^a	8,39 ^c	8,38 ^c	0,063	< 0,0001	0,489	NS

Las medias con letras distintas son significativamente diferentes a $P < 0.05$. *a, b: Efecto del tipo de verraco terminal y c, d: Efecto del sexo.

*SEM = Error estándar de la media (n=52 para C120, C140, C160, C161, C180, C181, C182, C183, C201, n6/n3, SFA, MUFA, PUFA, n = 68 para C170, C171 y n = 61 para C200).

^a Expresado como g/100 g del total de ácidos grasos; ^b Σ Ácidos grasos saturados; ^c Σ Ácidos grasos monoinsaturados.

^d Σ Ácidos grasos poliinsaturados.

Es bien conocido, que las razas autóctonas europeas, además de presentar mayor contenido de grasa que las razas mejoradas, presentan un perfil de AG diferente (Pugliese y Sirtori, 2012). Aunque, la composición de AG de los animales está más afectada por el programa de alimentación que por la raza y el sexo de los animales (Ninoles *et al.*, 2007). Existen diversos ensayos que estudian cómo influye la alimentación de los cerdos sobre el perfil lipídico de los mismos, en función de sus: distintos niveles de energía (Bee *et al.*, 2002), distintas fuentes de grasa (Bee *et al.*, 2002; Ninoles *et al.*, 2007), distintos niveles de proteína (Essén *et al.*, 1994), y restricción alimentaria (Daza *et al.*, 2007a).

Los resultados obtenidos en la composición de AG del tejido adiposo subcutáneo estuvieron de acuerdo con el programa de alimentación llevado a cabo en este presente trabajo. Basándose, por un lado, en piensos característicos con: a) niveles relativamente bajos de proteína y lisina, con respecto a un pienso de crecimiento-cebo convencional, y b) niveles de energía, grasa, y composición AG insaturados y poliinsaturados elevados en los piensos de engorde I y II, en comparación a piensos de acabado convencionales (Estévez *et al.*, 2006; Ventanas *et al.*, 2006). Y por otro, en un racionamiento

dirigido por fases, explicado anteriormente (Daza *et al.*, 2007a).

Pienso con altos niveles de grasa y AG MUFA y PUFA en la fase de cebo, sirven para controlar la síntesis endógena de AG saturados y estimular la acumulación de AG MUFA y PUFA respectivamente. Ya que, en especies de animales monogástricos la mayor parte de los AG de la dieta se absorben directamente del pienso, en el intercambio desde el intestino (Enser *et al.*, 2000), y se acumula en los tejidos adiposos y muscular, casi sin sufrir modificación (Cava *et al.*, 1999; De Pedro, 1999; Lebret, 2007). En concreto, piensos energéticamente concentrados y con altos contenidos en ácido oleico utilizan en sistemas de ibérico (50% duroc) de “Cebo”, como estrategia para alcanzar perfiles de C 18:1 en la grasa similares a los cerdos ibéricos en montanera (Ventanas *et al.*, 2006).

En este sentido, se obtuvieron valores de C16:0, C18:0 por debajo del 22,5 % y 11 % respectivamente y de C18:1 por encima del 53 %, similares a los estudiados (Ninoles *et al.*, 2007; Daza *et al.*, 2007c), cerdo ibérico (100%) de “montanera”. Y alejados, por una menor absorción de los primeros y la mayor síntesis endógena del segundo, de los observados por Serrano *et al.* (2008), de C16:0 y C18:0 por encima 22,5 % y 11 %, respectivamente, y C18:1 por debajo del 53 %; estudio realizado en cebo ibérico (50% duroc) “Cebo”, y alimentados con piensos con una composición diferente de: crecimiento (19 a los 80 kg PV), concentración energética de 9,15 MJ/kg, lisina total del 0,72 %, y grasa mezcla animal del 0,8 %; cebo (80 a 110 kg PV), concentración energética de 9,74 MJ/kg, lisina total del 0,64 %, jabón cálcico en base a oleínas del 1,00 %, y grasa mezcla animal del 2,10 %; acabado (110 a 145 kg PV), concentración energética de 10,38 MJ/kg, lisina total del 0,51 %, jabón cálcico en base a oleínas del 3,00 % y grasa mezcla animal del 3,00 %.

Sin embargo, los valores de C 18:2 obtenidos en el presente experimento alcanzan el mismo nivel que en las investigaciones de Ninoles *et al.* (2007) y Serrano *et al.* (2008) y menores que los obtenidos por Daza *et al.* (2007c), este suceso se explica por la diferencia de consumo de este AG en cada caso. El ácido linoleico es un AG esencial que viene directamente de la absorción grasa de la dieta. La concentración de C18:2 en la grasa del cerdo es directamente proporcional a la cantidad consumida (López-Bote *et al.*, 1999; Wood *et al.*, 2008, 1984; Isabel *et al.*, 2014). Este AG juega un papel esencial en la consistencia de la grasa. En el cerdo ibérico, su acumulación menor que en las razas magras está relacionada tanto por su consumo, como con la capacidad de utilizarlo a través de la beta-oxidación (Isabel *et al.*, 2014).

Como hemos dicho anteriormente, según el tipo de alimentación y su perfil de AG, el animal dependiendo de su genotipo almacenará un perfil de AG particular en su grasa subcutánea (Isabel *et al.*, 2014). En nuestro estudio, no encontramos efecto significativo ($p > 0,05$) del verraco terminal/ tratamientos antioxidantes sobre los valores de composición de AG de componente síntesis endógena,

SFA y MUFA, determinados en gran medida por la genética y no tanto por la oxidación. Sin embargo, si lo encontramos ($p < 0,05$) sobre los valores obtenidos de AG esenciales determinados por la dieta, PFA, y especialmente sensibles al deterioro oxidativo. Puesto que la composición de los piensos para todos los animales fue la misma (excepto en el contenido de antioxidantes en el pienso de acabado) y el tipo genético tampoco estaba afectando en la composición de AG, pudimos concluir que existió un efecto significativo ($p < 0,05$) debido a la diferente composición de aditivos antioxidantes en el pienso de acabado sobre las diferencias en el contenido de PFA entre el LOTE A y B, 8,08 % y 8,69 % respectivamente.

La estrategia seguida de estudiar diferentes combinaciones de antioxidantes en el pienso de acabado provocó efectos significativos ($p < 0,5$), tanto sobre los resultados de índice de oxidación de las grasas (TBARS), descritos anteriormente, como en los valores de PUFA y ratio de AG omega-6 y omega-3 poliinsaturados, obtenidos en los dos lotes experimentales. Se puso de manifiesto el efecto de la suplementación extra de antioxidantes naturales del LOTE B en la protección de los PUFA, alcanzando un valor de 8,69 %, significativamente ($p < 0,05$) mayores el del LOTE A, de 8,08 %; a su vez la relación AG omega-6 y omega-3, fue significativamente ($p < 0,05$) menor, 10,73 % y 13,17 %, respectivamente. El LOTE B tuvo un significativo ($p < 0,05$) menor deterioro de los AG omega 3 (PUFA) que el LOTE A, de acuerdo también con los estudios previos realizados por Cholewski *et al.* (2018) y (Morel *et al.*, 2013), que describieron que los AG omega 3 (PUFA) tienen una elevada predisposición a la oxidación, por lo que suplementación en la dieta con antioxidantes adicionales son necesarios (Heras-Molina *et al.*, 2020). En este sentido, la estrategia de la administración de polifenoles de la uva junto a la vitamina E pudo mejorar la disponibilidad de estos AG de la dieta, del mismo modo que el hidroxitirosol disminuye la peroxidación de los lípidos e incrementa la disponibilidad fetal de AG omega-3 y omega-6 poliinsaturados (García-Contreras *et al.*, 2019) Estos hechos nos han determinado una significativa ($p < 0,05$) mejor conservación de los AG omega-3 en el LOTE B, puesto que estos animales recibieron una suplementación mayor de antioxidantes naturales a través del producto comercial INGASO QTMEAT, incluido en el pienso de acabado. De esta manera el LOTE B obtuvo un menor ratio omega-6: omega-3 en la carne, que el LOTE A. Estrategia especialmente interesante junto con encontrar otras rutas para manipular la composición de AG de la carne en virtud de producir alimentos funcionales (Coates *et al.*, 2009). Una baja proporción omega-6: omega-3 muestran propiedades antiinflamatorias al producir cambios importantes en la composición de la microbiota intestinal, potenciando varios géneros bacterianos con actividad beneficiosa antiinflamatoria y tienen un fuerte efecto preventivo contra los síntomas de colitis ulcerosa (Fernández *et al.*, 2020). En conjunto, bajar la relación n-6: n-3 en la dieta a 5:1 puede ser beneficioso para los perfiles lipídicos en la sangre, y para mejorar el valor nutricional de la carne de cerdo, sin efecto adverso sobre el rendimiento del crecimiento y los parámetros de calidad de la carne que están relacionados con la aceptación del consumidor (Liu y Kim, 2017).

5.3.7.- Costes

Económicamente, el precio en euros (€) por cada kg del pienso de crecimiento fue de 0,239, el del engorde I fue de 0,260 y el del engorde II fue de 0,257. En base al programa diferencial de alimentación y la diferencia de rendimientos de crecimiento y consumo que se obtuvieron entre los LOTES A y B, el modelo optimizó los resultados económicos para un mínimo IC y coste de pienso por kg de carne repuesto posible, Tabla 5.49..

Tabla 5.49. Optimización económica del modelo

	LOTE A	LOTE B	Modelo
Consumo, kg			
*Transición	6,738	10,400	10,728
Crecimiento	220,620	210,240	178,090
Engorde I	159,920	161,520	129,561
Engorde II	265,650	357,280	349,376
Total	652,928	739,440	667,755
Coste, €			
*Transición	1,888	2,915	3,007
Crecimiento	52,699	50,220	42,540
Engorde I	41,605	42,021	33,707
Engorde II	68,245	91,785	89,755
Total	164,438	186,941	169,008
Coste pienso €/kg carne			
*Transición	0,460	4,423	0,729
Crecimiento	0,976	1,231	0,825
Engorde I	1,171	0,973	1,236
Engorde II	1,283	1,823	1,393
Total	1,120	1,385	1,147

* Fase de transición. de 90 a 98 días de edad ** fase pienso engorde I hasta los 365 días de edad.

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, Tabla 5. Estos resultados fueron acordes con los obtenidos por otros autores (Li, 2003; Schinckel *et al.*, 2003a; Schinckel *et al.*, 2003b), prediciendo para fase productiva del estudio un coste de 1,15 € por kg de carne producida, entre los 90 hasta 365 días de edad y de 1,11 €/kg entre los 63 hasta 365 días de edad. 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 en canal del cerdo ibérico

se determina por su clasificación por la norma de calidad del Real Decreto 4/2014, y su cotización en el mercado (Consejería de Medio Ambiente y Rural de Extremadura), existiendo un nicho de mercado para carnes de alta calidad; en este sentido, según el tipo de producción, los patrones se orientan para optimizar económicamente una producción de carne de diferentes grado de calidad y diferentes precios de mercado, de un cerdo con un potencial de crecimiento bajo, alta edad de sacrificio, bajas tasas de deposición de magro, altas tasas de deposición de grasa y característica composición de la grasa. 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), y de 1,98 €/kg PV y 2,28 €/kg PV para cerdos ibérico (50% duroc) en sistema “Cebo” y “Cebo de Campo”, respectivamente (Consejería de Medio Ambiente y Rural de Extremadura); 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 (Consejería de Medio Ambiente y Rural de Extremadura). 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 169,08 €/animal (este coste no incluye el coste de alimentación en la lechonera), y el retorno sobre esta inversión por la venta de jamones fue de 167,21 €, cubriendo 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 porcino lento. De aplicación práctica, en condiciones de producciones similares a las de este, para ajuste la eficiencia 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.

6.- CONCLUSIONES

El programa genético implementado en las líneas de ibérico y duroc Templario™ nos ha permitido caracterizar las dos poblaciones, homogeneizar morfológicamente las mismas, controlar la consanguinidad y, por ende, establecer una tendencia genética significativamente en caracteres de interés como la grasa intramuscular, perímetro de caña del jamón, y levemente en caracteres reproductivos.

La modelización nutricional realizada en la población de línea maternal de cerda ibérica Templario™, nos ha permitido conocer con exactitud el patrón matemático de los cambios fisiológicos y requerimientos nutricionales reales para una producción económicamente óptima de la reproductora ibérica a lo largo de su vida. De manera diferencial, desde la recría hasta la gestación y lactación ciclo por ciclo. Permittiéndonos establecer un modelo de nutrición de precisión para esta población.

En el caso del estudio de la modelización nutricional de cerdo ibérico de “Cebo de Campo”, hemos conseguido diseñar un modelo matemático que interpreta el crecimiento diferencial de este sistema de producción ajustando económicamente la cantidad y composición correcta del alimento para cada momento en el cerdo ibérico (50 % duroc) engordado en semiextensivo como categoría de “Cebo de Campo”. Para obtener a un mínimo coste el kilogramo de carne para la elaboración de productos frescos y curados de alta calidad. Este innovador y original modelo de crecimiento lento, lo hemos denominado “modelo de crecimiento diferencial” y establece un modelo de nutrición de precisión para mejorar la eficiencia de este tipo de producción.

Por último, incluir en el pienso de acabado de cerdos de “Cebo de Campo” niveles mayores de 150 ppm vitamina E sintética, no aumentó su contenido en musculo post mortem. Si bien, utilizar un extra combinado de otros antioxidantes naturales en sinergia con esta ((INGASO QTMEAT®) mostró un efecto positivo en la protección de la carne frente a la oxidación lipídica.

La limitación de los resultados de los estudios de modelización nutricional, tanto del experimento 2 y 3, 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.

7.- CONCLUSIONS

The genetic program implemented in the Iberian and duroc Templario™ lines has allowed us to characterize the two populations, homogenize them morphologically, control inbreeding and, therefore, establish a significant genetic trend in traits of interest such as intramuscular fat, ham cane circumference, and slightly in reproductive traits.

The nutritional modelling carried out on the maternal line population Iberian Templario™ sow, has allowed us to know exactly the mathematical pattern of the physiological changes and real nutritional requirements for an economically optimal production of the Iberian sow throughout her life. Differentially, from rearing to gestation and lactation cycle by cycle. Allowing us to establish a precision nutrition model for this population.

In the case of the study of the nutritional modelling of the Iberian pig reared in outdoor system, we have managed to design a mathematical model that interprets the differential growth of this production system by economically adjusting the adequate quantity and composition of feed for each moment in the Iberian pig (50 % duroc) fattened in outdoor system. To obtain a minimum cost per kilogram of meat for the production of high quality fresh and cured products. This innovative and original model of slow growth, we have called it "differential growth model" and it establishes a model of precision nutrition to improve the efficiency of this type of production.

Finally, including higher levels of 150 ppm synthetic vitamin E in the finishing feed of the Iberian pigs (50 % duroc) fattened in outdoor system, did not increase their post-mortem muscle content. However, using an extra combined of other natural antioxidants in synergy with it (INGASO QTMEAT®) showed a positive effect on the protection of meat against lipid oxidation.

The limitation of the results of the nutritional modelling studies, both experiment 2 and 3, is that they cannot be generalized to different farms and production systems (genotype, feeding program, production cycle, environment, etc.), as more research is needed to extrapolate accurate predictions to other circumstances.

8.- BIBLIOGRAFÍA

- AECERIBER. 2021. Programa de cría de la raza de porcino ibérico. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Gobierno de España.
- Aguinaga, M. A., F. Gómez-Carballar, R. Nieto, and J. F. Aguilera. 2011. Production and composition of Iberian sow's milk and use of milk nutrients by the suckling Iberian piglet. *Animal*; 5:9:1390–1397.
- Andersen, I. L. V., G. Pedersen, L.J. 2014. Nest building and posture changes and activity budget of gilts housed in pens and crates. *Applied Animal Behaviour Science*
- Andrada, A., C. Lopez, and A. Mateos. 2002. Alimentación del cerdo Ibérico: necesidades y objetivos. *Mundo ganadero*; 150:30-35.
- Andrés, A. I., R. Cava, A. I. Mayoral, J. F. Tejada, D. Morcuende, and J. Ruiz. 2001. Oxidative stability and fatty acid composition of pig muscles as affected by rearing system, crossbreeding and metabolic type of muscle fibre. *Meat Sci*; 59:39-47.
- Andrés, A. I., J. Ruiz, M. L. Tello, and A. I. Mayoral. 1998. Tipos de fibras musculares en el cerdo ibérico; influencia del sistema de explotación. *Solo Cerdo Ibérico*; 77-86.
- ANPS. 2011. Programa de mejora de las razas porcinas Duroc, Hampshire, Landrace, Large White y Pietrain. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Gobierno de España.
- ARC. 1981. The Nutrient Requirements of Pigs, Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, England.
- Aubry, A., N. Quinou, Y. Le Cozler, and M. Querné. 2004. Modélisation de la croissance et de la consommation d'aliment des porcs de la naissance à l'abattage: actualisation des coefficients appliqués aux critères standardisés de performances en Gestion Technico-Economique. *Journées Recherche Porcine*.
- 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., Universidad Complutense de Madrid. Ph.D Thesis, Universidad Complutense de Madrid, Spain.
- Ayuso, M., A. Fernandez, Y. Nunez, R. Benitez, B. Isabel, A. I. Fernandez, A. I. Rey, A. Gonzalez-Bulnes, J. F. Medrano, A. Canovas, C. J. Lopez-Bote, and C. Ovilo. 2016. Developmental Stage, Muscle and Genetic Type Modify Muscle Transcriptome. Pigs: Effects on Gene Expression and Regulatory Factors Involved in Growth and Metabolism. *PLoS One*; 11(12).
- Ayuso, M., A. Fernández, Y. Núñez, R. Benítez, B. Isabel, C. Barragán, A. I. Fernández, A. I. Rey, J. F. Medrano, A. Cánovas, A. González-Bulnes, C. López-Bote, and C. Ovilo. 2015. Comparative Analysis of Muscle Transcriptome between Pig Genotypes Identifies Genes and Regulatory Mechanisms Associated to Growth, Fatness and Metabolism. *PloS one*; 11.
- Barbero, A., S. Astiz, C. J. Lopez-Bote, M. L. Perez-Solana, M. Ayuso, I. Garcia-Real, and A. Gonzalez-Bulnes. 2013. Maternal Malnutrition and Offspring Sex Determine Juvenile Obesity and Metabolic Disorders in a Swine Model of Leptin Resistance. *PLoS One*; 11(12).
- Barbero Fernández, A. 2015. Estudio mediante técnicas no invasivas del efecto de la programación fetal sobre el crecimiento postnatal en el cerdo ibérico. Ph.D Thesis, Universidad Complutense de Madrid, Spain.
- Barea, R., B. Isabel, R. Nieto, C. Lopez-Bote, and J. F. Aguilera. 2013. Evolution of the fatty acid profile of subcutaneous back-fat adipose tissue in growing Iberian and Landrace x Large White pigs. *Animal*; 7:688-698. doi: <https://doi.org/10.1017/S175173111200184X>
- Barea, R., R. Nieto, and J. F. Aguilera. 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. doi: <https://doi.org/10.1017/S1751731107666099>
- Barea, R., R. Nieto, F. Vitari, C. Domeneghini, and J. F. Aguilera. 2010. Effects of pig genotype (Iberian v. Landrace3Large White) on nutrient digestibility, relative organ weight and small intestine structure at two stages of growth. *Animal*; 5:4:547–557

- Bastianelli, D., and D. Sauvant. 1997. Modelling the mechanisms of pig growth. *Livest. Prod. Sci.* 51:97-07. doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00109-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00109-7)
- Batterham, E. S., L. M. Andersen, D. R. Baignent, and E. White. 1990. Utilization of ileal digestible amino acids by growing pigs: Effect of dietary lysine concentration on efficiency of lysine retention. *Br J. Nutr.*; 64:64:81. doi: <https://doi.org/10.1079/BJN19900011>
- Bee, G., S. Gebert, and R. Messikommer. 2002. Effect of dietary energy supply and fat source on the fatty acid pattern of adipose and lean tissues and lipogenesis in the pig. *J. Anim. Sci.*; 80:1564-1574.
- Beerman, D. H. 1993. Use of endogenous agents to regulate growth composition. In: Hollis, G.R. (ed.), *Growth of the Pig*. CAB International, Wallingford, UK:185-213.
- Bikker, P., V. Karabinas, M. W. Verstegen, and R. G. Campbell. 1995. Protein and lipid accretion in body components of growing gilts (20 to 45 kilograms) as affected by energy intake. *J. Anim. Sci.*; 73:2355-2363.
- Bikker, P., M. W. Verstegen, B. Kemp, and M. W. Bosch. 1996a. Performance and body composition of finishing gilts (45 to 85 kilograms) as affected by energy intake and nutrition in earlier life. I. Growth of the body and body components. *J. Anim. Sci.*; 74:806-816.
- Bikker, P., M. W. Verstegen, B. Kemp, and M. W. Bosch. 1996b. Performance and body composition of finishing gilts (45 to 85 kilograms) as affected by energy intake and nutrition in earlier life. II. Protein and lipid accretion in body components. *J. Anim. Sci.*; 74:817-826.
- Bikker, P., M. W. A. Verstegen, and M. W. Bosch. 1994a. Amino acid composition of growing pigs is affected by protein and energy intake. *J. Anim. Nutr.*; 124:1961-1969.
- Birkett, S. H., and K. de Lange. 2001c. Calibration of a nutrient flow model of energy utilization by growing pigs. *Br. J. Nutr.*; 86:675-689.
- Black, J. L., and D. A. Griffiths. 1975. Effects of live weight and energy intake on nitrogen balance and total N requirement of lambs. *Br. J. Nutr.*; 33(3):399-413. doi: <https://doi.org/10.1079/BJN19750044>
- Blasco, A. 2021. *Mejora genética animal*. Ed. Síntesis. Libro.
- Bonnette, E. D., E. T. Kornegay, M. D. Lindemann, and C. Hammerberg. 1990. Humoral and cell-mediated immune response and performance of weaned pigs fed four supplemental vitamin E levels and housed at two nursery temperatures. *J. Anim. Sci.*; 68:1337-1345.
- Bosch, L., M. Tor, J. Reixach, and J. Estany. 2012. Age-related changes in intramuscular and subcutaneous fat content and fatty acid composition in growing pigs using longitudinal data. *Meat Sci.*; 91:358-363.
- Boyd, R. D., K. J. Touchette, G. C. Castro, M. E. Johnston, K. U. Lee, and I. K. Han. 2000. Recent advances in amino acid and energy nutrition of prolific sows. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*; 13:1638-1652.
- Bridges, T. C., L. W. Turner, E. M. Smith, T. S. Stahly, and O. J. O. J. Loewer. 1986. A mathematical procedure for estimating animal growth and body composition. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 29:1342-1347.
- Brossard, L., J. Y. Dourmad, J. Rivest, and J. van Milgen. 2009. Modelling the variation in performance of a population of growing pig as affected by lysine supply and feeding strategy. *Animal : an international journal of animal bioscience* 3(8):1114-1123. doi: 10.1017/S1751731109004546
- Bruce, J. M., and J. J. Clark. 1979. Models of heat production and critical temperature for growing pigs. *J. Anim. Sci.*; 28:353-369. <https://doi.org/10.1017/S0003356100023266>
- BSAS. 2003. *Nutrient Requirement Standards of Pigs*. BSAS (British Society of Animal Science). 2003. C. T. Whittemore, M. J. Hazzledine, and W. H. Close, authors. Penicuik, UK: British Society of Animal Science.
- Cambra, J., and A. Villafuerte. 2009. Denominaciones de origen e indicaciones geográficas: justificación de su empleo y valoración de su situación actual en España.
- Campbell, R. G. 1988b. Nutritional constraints to lean tissue accretion in farm animals. *Nutrition Research Reviews* 1:233-253. <https://doi.org/10.1079/NRR19880016>

- Campbell, R. G., and A. C. Dunkin. 1983b. The effects of energy intake and dietary protein on nitrogen retention, growth performance, body composition and some aspects of energy metabolism of baby pigs. *Br. J. Nutr.*; 49:221-230. <https://doi.org/10.1079/bjn19830029>
- Campbell, R. G., M. R. Taverne, and D. M. Curie. 1985a. Effects of sex and energy intake between 48 and 90 kg live weight on protein deposition in growing pigs. *Anim. Sci.*; 40(3):497-503. <https://doi.org/10.1017/S0003356100040198>
- Campbell, R. G., and M. R. Taverner. 1988a. Relationships between energy intake and protein and energy metabolism, growth and body composition of pigs kept at 14 or 32°C from 9 to 20 kg. *Livest. Prod. Sci.*
- Campbell, R. G., M. R. Taverner, and D. M. Curie. 1983a. The influence of feeding level from 20 to 45 kg live weight on the performance and body composition of female and entire male pigs. *Anim. Sci.*; 44:263-273. <https://doi.org/10.1017/S1357729800001247>
- Campbell, R. G., M. R. Taverner, and D. M. Curie. 1984. Effect of feeding level and dietary protein content on the growth, body composition and rate of protein deposition in pigs growing from 45 to 90 kg. *Anim. Sci.*; 38:233. <https://doi.org/10.1017/S0003356100002221>
- Campbell, R. G., M. R. Taverner, and D. M. Curie. 1985b. The influence of feeding level on the protein requirement of pigs between 20 and 45 kg live weight. *Anim. Sci.*; 40(3):489-496. <https://doi.org/10.1017/S0003356100040186>
- Canario, L., M. C. Père, T. Tribout, F. Thomas, C. David, J. Gogué, P. Herpin, J. P. Bidanel, and J. Le Dividich. 2007. Estimation of genetic trends from 1977 to 1998 of body composition and physiological state of Large White pigs at birth. *Animal*; 1:1409-1413. <https://doi.org/10.1017/s1751731107000766>
- Casas, G. A., D. Rodríguez, and G. Afanador Téllez. 2010. Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*.
- Cava, R., and A. I. Andrés. 2001. La obtención de la materia prima de una adecuada aptitud tecnológica. Características de la grasa determinantes de la calidad del jamón: influencia de los factores genéticos y ambientales. En: *Tecnología del Jamón Ibérico. De los sistemas tradicionales a la explotación racional del sabor y el aroma* (Coordinador J. Ventanas). Ediciones Mundi Prensa:98-129. Libro.
- Cava, R., A. I. Andrés, J. Ruiz, J. F. Tejeda, and J. Ventanas. 1999. Influencia de la alimentación sobre el perfil de ácidos grasos. I jornadas sobre el cerdo ibérico y sus productos. Salamanca-Guijuelo 22-25 junio 1999. Libro de ponencias: 139-154. Ed. Estación Tecnológica de la Carne de Castilla y León. Consejería de Agricultura y Ganadería. Junta de Castilla y León.
- Charneca, R., J. L. T. Nues, and J. Le Dividich. 2010. Body composition and blood parameters of newborn piglets from Alentejano and conventional (Large White × Landrace) genotype. *Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Spanish Journal of Agricultural Research*; 8:317-325.
- Chen, Z., J. I. Torrens, A. Anand, B. M. Spiegelman, and J. M. Friedman. 2005. Krox20 stimulates adipogenesis via C/EBP β -dependent and-independent mechanisms. *Cell. Metab.*; 1:93-106. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2004.12.009>
- Chizzolini, R., E. Novelli, and E. Zanardi. 1998. Oxidation in traditional mediterranean meat products. *Meat Sci.*; 49:S87-S99. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)90040-7](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)90040-7)
- Cholewski, M., M. Monika Tomczykowa, and M. Tomczyk. 2018. A Comprehensive Review of Chemistry, Sources and Bioavailability of Omega-3 Fatty Acids. *Nutrients*; 10:1662. <https://doi.org/10.3390/nu10111662>
- Close, W. H., F. Berschauer, and R. P. Heavens. 1983. The influence of protein.energy value of the ration and level of feed intake on the energy and nitrogen metabolism of the growing pig. 1. Energy metabolism. *Br. J. Nutr.*; 49 (2):49:255. <https://doi.org/10.1079/bjn19830032>
- Close, W. H., J. Noblet, and R. P. Heavens. 1985. Studies on the energy metabolism of the pregnant sow. 2. The partition and utilization of metabolizable energy intake in pregnant and non-pregnant animals. *Br. J. Nutr.*; 53:267-279.

- Clowes, E. J., F. X. Aherne, G. R. Foxcroft, and B. E. Baracos. 2003c. Selective protein loss in lactating sows is associated with reduced litter growth and ovarian function. *J. Anim. Sci.*; 81(3):753-764. doi: <https://doi.org/10.2527/2003.813753x>
- Coates, A. M., S. Sioutis, J. D. Buckley, and P. R. Howe. 2009. Regular consumption of n-3 fatty acid-enriched pork modifies cardiovascular risk factors. *Br. J. Nutr.*; 101:592-597.
- Collé, M. 2010. Efectos de la dieta en los tres sexos (castrados, enteros hembras). https://www.3tres3.com/manejo_en_cebo/efectos-de-la-dieta-en-los-tres-sexos-castrados-enteros-hembras_4396/
- Conde-Aguilera, J. A., M. A. Aguinaga, J. F. Aguilera, and R. Nieto. 2011a. Nutrient and energy retention in weaned Iberian piglets fed diets with different protein concentrations. *J. Anim. Sci.*; 89:754-763. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3173>
- Conde-Aguilera, J. A., M. A. Aguinaga, L. Lara, J. F. Aguilera, and R. Nieto. 2011b. Carcass traits and organ weights of 10-25-kg body weight Iberian pigs fed diets with different protein-to-energy ratio. *Anim. Feed Sci. Technol.*; 164(1-2):116-124. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.12.002>
- Consejería de Medio Ambiente y Rural de Extremadura, J. d. E. Mesas de Precios de la Lonja de Extremadura. (Accessed <https://lonjaextremadura.es/products/>).
- Corino, C., G. Oriani, L. Pantaleo, G. Pastorelli, and G. Salvatori. 1999. Influence of Dietary Vitamin E Supplementation on "Heavy" Pig Carcass Characteristics, Meat Quality, and Vitamin E Status. *Anim. Sci.*; 77:1755-1761. <https://doi.org/10.2527/1999.7771755x>
- Corominas, J., Y. Ramayo-Caldas, A. Puig-Oliveras, J. Estelle, A. Castello, E. Alves, R. N. Pena, M. Ballester, and J. M. Folch. 2013. Analysis of porcine adipose tissue transcriptome reveals differences in de novo fatty acid synthesis in pigs with divergent muscle fatty acid composition. *BMC Genomics*; 14:843. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-843>
- Coudenys, K. T. 1998. The effect of body weight and energy intake on the physical and chemical body composition in growing-finishing pigs. M.S. Ph.D Thesis, Department of Animal and Poultry Science, University of Guelph, Guelph, Canada
- Critser, D. J., P. S. Miller, and A. J. Lewis. 1995. The effects of dietary protein concentration on compensatory growth in barrows and gilts. *J. Anim. Sci.* <https://doi.org/10.2527/1995.73113376x>
- Cronan, J. E., and G. L. Waldrop. 2002. Multi-subunit acetyl-CoA carboxylases. *Progress in lipid research*; 41:407-435.
- Cronin, G. M., J. M. F. M. van Tartwijk, W. van Der Hel, and M. W. Verstegen. 1986. The influence of degree of adaptation to tether housing by sows in relation to behavior and energy metabolism. *Anim. Nutr.*; 42:257-268.
- da Costa, N., C. McGillivray, Q. Bai, J. D. Wood, G. Evans, and K. C. Chang. 2004. Restriction of dietary energy and protein induces molecular changes in young porcine skeletal muscles. *J. Nutr. Biochem.*; 14:2191-2199.
- Damm, B. I. L., L. Vestergaard, K.S. Vanicek, J. 2003. Nest-building, behavioural disturbances and heart rate in farrowing sows kept in crates and Schmid pens. *Livest. Prod. Sci.*
- Damon, M., I. Louveau, L. Lefaucheur, B. Leuret, A. Vincent, P. Leroy, M. P. Sanchez, P. Herpin, and F. Gondret. 2006. Number of intramuscular adipocytes and fatty acid binding protein-4 content are significant indicators of intramuscular fat level in crossbred Large White x Duroc pigs. *J. Anim. Sci.* 84:1083-1092.
- Darlington, G. J., S. E. Ross, and O. A. MacDougald. 1998. The role of C/EBP genes in adipocyte differentiation. *J. Nutr. Biochem.*; 7:30057-30060.
- Daza, A. 1988. Alojamiento e instalaciones en ganado porcino. In: Bases para el diseño de alojamientos e instalaciones ganaderas. E. Sanz, C. Buxadé and I. Ovejero, eds. p 115-171., Asociacio d'Enginyers Agrònoms de Catalunya.
- Daza, A., C. Lopez-Bote, A. Olivares, D. Menoyo, and J. Ruiz. 2007c. Age at the beginning of the fattening period of Iberian pigs under free-range conditions affects growth, carcass characteristics and the fatty acid profile of lipids. *Anim. Feed Sci. Technol.*; 139:81-91.

- Daza, A., C. Lopez-Bote, A. Olivares, D. Menoyo, and J. Ruiz. 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. *J. Sci. Food Agric.*; 88:449-454. <https://doi.org/10.1002/jsfa>
- Daza, A., A. Olivares, and C. Lopez-Bote. 2006c. Effect of a moderate feed restriction on subsequent growth and body composition in pigs raised under high environmental temperatures. *J. Anim. Feed Sci.*; 15:417-426. <https://doi.org/10.22358/jafs/66912/2006>
- Daza, A., A. I. Rey, D. Menoyo, J. M. Bautista, A. Olivares, and C. J. López-Bote. 2007a. Effect of level of feed restriction during growth and/or fattening on fatty acid composition and lipogenic enzyme activity in heavy pigs. *J. Anim. Feed Sci.*; 138(1):61-74. doi:10.1016/j.anifeedsci.2006.11.013
- Daza, A., J. Riopérez, and C. Centeno. 2004. Changes in the composition of sows' milk between days 5 to 26 of lactation. *Span. J. Agric. Res.*; 2:333-336.
- Daza, A., I. Rodríguez, I. Ovejero, and C. Lopez-Bote. 2003. Effect on pig performance of feed restriction during the growth period. *Span. J. Agric. Res.*; 1:3-8. <https://doi.org/10.5424/sjar/2003014-42>
- De Greef, K. H. 1992. Prediction of production; nutrition induced tissue partitioning in growing pigs. , Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.
- de Greef, K. H., M. W. Verstegen, B. Kemp, and P. van der Togt. 1994. The effect of body weight and energy intake on the composition of deposited tissue in pigs. *Anim. Sci.*; 58:263-270. doi: <https://doi.org/10.1017/S1357729800042582>
- de Lange, B. G., G. J. van Kampen, J. Klaver, and M. W. Verstegen. 1980. Effect of condition of sows on energy balances during 7 days before and 7 days after parturition. *J. Anim Sci.*; 50:886-891.
- de Lange, C. F., S. H. Birkett, and P. C. Morel. 2001. Protein, fat and bone tissue growth in swine. In *Swine Nutrition*. A. Lewis and L. Southern, ed. CRC Press, Boca Raton, FL:65-84.
- de Lange, C. F. M., P. C. H. Morel, and S. H. Birkett. 2003. Modeling chemical and physical body composition of the growing pig. *J. Anim Sci.* http://jas.fass.org/content/81/14_suppl_2/E159
- De Pedro, E. 1999. Índices de calidad para una clasificación objetiva de canales de cerdo ibérico. I jornadas sobre el cerdo ibérico y sus productos. Salamanca-Guijuelo 22-25 junio 1999. Libro de ponencias. Ed. Estación Tecnológica de la Carne de Castilla y León. Consejería de Agricultura y Ganadería. Junta de Castilla y León.:139-154.
- de Sousa, U. L. J., M. D. Koss, M. Fillies, A. Gahl, M. R. Scheeder, M. C. Cardoso, H. Leonhardt, N. Geary, W. Langhans, and M. Leonhardt. 2005. CPT1 α over-expression increases long-chain fatty acid oxidation and reduces cell viability with incremental palmitic acid concentration in 293T cells. *Biochemical and biophysical research communications* 338:757-761.
- Dodson, M. V., G. J. Hausman, L. Guan, M. Du, T. P. Rasmussen, S. P. Poulos, P. Mir, W. G. Bergen, M. E. Fernyhough, D. C. McFarland, R. P. Rhoads, B. Soret, J. M. Reecy, S. G. Velleman, and Z. Jiang. 2010. Lipid metabolism, adipocyte depot physiology and utilization of meat animals as experimental models for metabolic research. . *Int. J. Biol. Sci.*; 6:691-699.
- Doran, O., S. K. Moule, G. A. Teye, F. M. Whittington, K. G. Hallett, and J. D. Wood. 2006. A reduced protein diet induces stearyl-CoA desaturase protein expression in pig muscle but not in subcutaneous adipose tissue: relationship with intramuscular lipid formation. *Br. J. Nutr.*; 95(609-17)
- Dourmad, J. Y., L. Brossard, C. Pomar, J. Pomar, P. Gagnon, and L. Cloutier. 2017. Development of a decision support tool for precision feeding of pregnant sows. *European Conference on Precision Livestock Farming (ECPLF)* 8:584-592.
- Dourmad, J. Y., and M. Etienne. 2002. Dietary lysine and threonine requirements of the pregnant sow estimated by nitrogen balance. *J. Anim. Sci.*; 80:2144-2150. <https://doi.org/10.2527/2002.8082144x>
- Dourmad, J. Y., M. Etienne, J. Noblet, and D. Causeur. 1997. Prédiction de la composition chimique des truies reproductrices à partir du poids vif et de l'épaisseur de lard dorsal. *Journées Rech. Porcine en France*
- Dourmad, J. Y., M. Etienne, J. Noblet, A. Valancogne, S. Dubois, and J. Van Milgen. 2005. InraPorc : un outil d'aide à la décision pour l'alimentation des truies reproductrices. *Journées Recherche Porcine* 37:299-306.

- Dourmad, J. Y., M. Étienne, A. Valancogne, S. Dubois, J. van Milgen, and J. Noblet. 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of sows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 143(1-4):372-386. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2007.05.019. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.019>.
- Dourmad, J. Y., J. Noblet, and M. Étienne. 1998. Effect of protein and lysine supply on performance, nitrogen balance, and body composition changes of sows during lactation. *J. Anim. Sci.*; 76:542-550. <http://dx.doi.org/10.2527/1998.762542x>
- Dourmad, J. Y., J. Noblet, M. C. Pere, and M. Etienne. 1999. Mating, pregnancy and prenatal growth in A Quantitative Biology of the Pig, I. Kyriazakis, ed. New York: CABI.:129-153.
- Druker, R. 2005. Regulación del apetito y control hormonal del peso corporal, *Fisiología Médica*. México DF: El Manual Moderno.
- Dubeau, F., P. O. Julien, and C. Pomar. 2011. Formulating diets for growing pigs: economic and environmental considerations. *Annals of Operations Research*; 190:239-269.
- Dunkin, A. C., J. L. Black, and K. J. James. 1986. Nitrogen balance in relation to energy intake in entire male pigs weighing 75 kg. *Br. J. Nutr.*; 55:20.
- Egea, M., M. B. Linares, M. D. Garrido, J. Madrid, and F. Hernández. 2016. Feeding IberianxDuroc cross pigs with crude glycerine: Effects of diet and gender on carcass and meat quality. *Meat Sci.*; 111:78-84. doi: 10.1016/j.meatsci.2015.08.008
- Ellis, M., and N. Augspurger. 2001. Feed intake in growing-finishing pigs. *Swine Nutrition*, 2nd Edition, A. J. Lewis and L. L. Southern, eds. Boca Raton, FL: CRC Press.:447-467.
- Emmans, G. C. 1981. A model of the growth and feed intake of ad libitum fed animals, particularly poultry. En: Hillyer, G.M., Whittemore, C.T. and Gunn, R.G. (eds), *Computers in Animal Production*, Occasional Publication No. 5. British Society of Animal Production, Edinburgh:103-110.
- Enser, M., R. I. Richardson, J. D. Wood, B. P. Gill, and P. R. Sheard. 2000. Feeding linseed to increase the n-3 PUFA of pork: fatty acid composition of muscle, adipose tissue, liver and sausages. *Meat Sci.*; 55,201-212. 55:201-212.
- Escandón, M. 1916. El cerdo: su explotación y aprovechamiento. Sociedad Española de Librería. Libro.
- Esquiliche, F. 2011. Metaanálisis de los resultados productivos de las fases de crecimiento y cebo del cerdo Ibérico. Trabajo final de master. Córdoba. Universidad de Córdoba.
- Essén, B., A. Karlsson, and K. Lundström. 1994. Intramuscular Fat and Muscle Fibre Lipid Contents in Halothane-Gene-Free Pigs Fed High or Low Protein Diets and its Relation to Meat Quality. *Meat Sci.*; 38 (2):269-277. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(94\)90116-3](https://doi.org/10.1016/0309-1740(94)90116-3)
- Estevez, M., D. Morcuende, and R. Cava. 2003. Oxidative and colour changes in meat from three lines of free-range reared Iberian pigs slaughtered at 90 kg live weight and from industrial pig during refrigerated storage. *Meat Sci.*; 65 (3):1139-1146. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(02\)00343-1](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(02)00343-1)
- Estevez, M., D. Morcuende, and R. Cava. 2006. Extensively reared Iberian pigs versus intensively reared white pigs for the manufacture of frankfurters. *Meat Sci.* 72(2):356-364. doi: 10.1016/j.meatsci.2005.08.003
- Everts, H. 1994. Nitrogen and energy metabolism of sows during several reproductive cycles in relation to nitrogen intake. <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/205958>.
- Fabian, J., L. I. Chiba, L. T. Frobish, W. H. MacElhenney, D. L. Kuhlert, and K. Nadaraja. 2004. Compensatory growth and nitrogen balance in grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.*; 82:2579-2587.
- Falconer, D. S., and T. F. C. Mackay. 1996. *Introduction to Quantitative Genetics*, 4^a edition. Ed. Acribia. Libro.
- Farmer, C., M. F. Palin, P. K. Theil, M. T. Sorensen, and N. Devillers. 2012. Milk production in sows from a teat in second parity is influenced by whether it was suckled in first parity. *J. Anim. Sci.*; 90 (11):3743-3751. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5127>
- FEDNA. 2013. Necesidades nutricionales para ganado porcino; Normas FEDNA.
- Fernandez, A., de Pedro, E., Nuñez, N., Silio, L., Garcia-Casco, J., Rodriguez, C. 2003. Genetic parameters for meat and fat quality and carcass composition traits in Iberian pigs. *Meat Sci.*; 64:405-410.

- Fernández, J., V. García de la Fuente, T. Fernández, J. Gómez, B. Isabel, C. Villar, and F. Lombo. 2020. Actividad antiinflamatoria asociada a la ingesta de jamón de bellota 100 % natural en un modelo animal para la colitis ulcerosa.
- Fernandez, X., G. Monin, A. Talmant, J. Mourot, and B. Lebret. 1999a. Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat — 1. Composition of the lipid fraction and sensory characteristics of *m. longissimus lumborum*. . *Meat Sci.*; 53:59-65.
- Fernandez, X., G. Monin, A. Talmant, J. Mourot, and B. Lebret. 1999b. Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat — 2. Consumer acceptability of *m. longissimus lumborum*. . *Meat Sci.*; 53:67-72.
- Feyera, T., and P. K. Theil. 2017. Energy and lysine requirements and balances of sows during transition and lactation: A factorial approach. *Livest. Sci.*; 201:50-57. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.05.001>
- Flachowsky, G., E. Schulz, R. Kratz, and P. Glodek. 2008. Effects of different dietary fat sources on the fatty acid profile of backfat and intramuscular fat of pigs of various sire breeds. *J. Anim. Feed Sci.*;17:363-371.
- Friedman, J. M., and J. L. Halaas. 1998. Leptin and the regulation of body weight in mammals. *Nature*; 395(6704):763-770.
- Friesen, K. G., J. C. Nelssen, R. D. Goodband, M. D. Tokach, A. P. Schinckel, and M. E. Einstein. 1996. The use of growth curves for assessing the response to dietary lysine by high-lean gain gilts. *Anim. Sci.*; 62 (1):159–169. <https://doi.org/10.1017/S1357729800014430>
- Fuller, M. F., and P. Garthwaite. 1993. The form of response of body protein accretion to dietary amino acid supply. *J. Nutr.*; 123 (5):957-963. <https://doi.org/10.1093/jn/123.5.957>
- García-Casco, J., Muñoz, M., Silio, L., Rodríguez, C. 2014. Genotype by environment interaction for carcass traits and intramuscular fat content in heavy Iberian pigs fattened in two different free-range systems. *Span. J. of Agric. R.*; 12(2): 388-395.
- García-Contreras, C., M. Vazquez-Gomez, Z. Pardo, A. Heras-Molina, T. Encinas, L. Torres-Rovira, S. Astiz, R. Nieto, C. Ovilo, and A. Gonzalez-Bulnes. 2019. Polyphenols and IUGR Pregnancies: Effects of Maternal Hydroxytyrosol Supplementation on Hepatic Fat Accretion and Energy and Fatty Acids Profile of Fetal Tissues. *Nutrients*; 11 (7) :1534. <https://doi.org/10.3390/n11071534>
- García-Valverde, R., R. Barea, L. Lara, R. Nieto, and J. F. Aguilera. 2008. The effects of feeding level upon protein and fat deposition in Iberian heavy pigs. *Livest. Sci.* 114(2-3):263-273. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.05.005>
- Gauthier, R., C. Largouët, C. Gaillard, L. Cloutier, F. Guay, and J. Y. Dourmad. 2019. Dynamic modeling of nutrient use and individual requirements of lactating sows. *J. Anim. Sci.* 97(7):2822-2836.
- Gerbens, F. 2004. Genetic control of intramuscular fat accretion. Muscle development of livestock animals: physiology, genetics and meat quality; 343-361. Libro. <http://dx.doi.org/10.1079/9780851998114.0343>
- Gill, B. P. 2006. Body composition of breeding gilts in response to dietary protein and energy balance from thirty kilograms of body weight to completion of first parity. *J. Anim. Sci.*; 84(7):1926-1934. doi: 10.2527/jas.2005-203
- Gómez-Nieves, J., and A. Robina. 2005. Las carnes de Extremadura. El cerdo ibérico. (Junta de Extremadura. Consejería de sanidad y consumo).
- 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.
- Gonzalez-Bulnes, A., C. Ovilo, C. Lopez-Bote, S. Astiz, M. Ayuso, M. L. Perez-Solana, R. Sanchez-Sanchez, and L. Torres-Rovira. 2012. Gender-specific early postnatal catch-up growth after intrauterine growth retardation by food restriction in swine with obesity/leptin resistance. *Reproduction*; 144:269-278. <https://doi.org/10.1530/rep-12-0105>
- Groen, K. 2014. Textbook animal breeding: Animal breeding and genetics for BSc students. Centre for Genetic Resources and Animal Breeding and Genomics Group, Wageningen University and Research Centre, the Netherlands.

- Gu, Y., A. P. Schinckel, and T. G. Martin. 1992. Growth, development, and carcass composition in five genotypes of swine. *J. Anim. Sci.*; 70:1719–1729. doi: <https://doi.org/10.2527/1992.7061719x>
- Gutierrez, N. A., and J. F. Patience. 2012. The metabolic basis of feed-energy efficiency in swine. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy, <http://hdl.handle.net/11299/139290>
- Hansen, A. V., A. B. Strathe, E. Kebreab, J. France, and P. K. Theil. 2012. Predicting milk yield and composition in lactating sows: a Bayesian approach. *J. Anim. Sci.*; 90(7):2285-2298. doi: 10.2527/jas.2011-4788
- Hansen, A. V., A. B. Strathe, E. Kebreab, and P. K. Theil. 2011. A lactation curve model in sows. *Animal Science* 89 (E-suppl. 1):587. (Abstr.).
- Hansen, A. V., A. B. Strathe, P. K. Theil, and E. Kebreab. 2014. Energy and nutrient deposition and excretion in the reproducing sow: model development and evaluation. *J. Anim. Sci.*; 92(6):2458-2472. doi: 10.2527/jas.2013-6540
- Harvey, W. R. 1960. Least squares analysis of data with unequal subclass numbers. United States Department of Agriculture ARS; 20-28.
- Hauser, N., J. Mourot, L. De Clercq, C. Genart, and C. Remacle. 1997. The cellularity of developing adipose tissues in Pietrain and Meishan pigs. *Reprod. Nutr. Dev.*; 37:617-625. <https://doi.org/10.1051/rnd:19970601>
- Henderson, C. R. 1953. Estimation of variance and covariance components. *Biometrics*; 9:226-252.
- Henderson, C. R. 1973. Sire evaluation and genetic trends. *Journal of Animal Science*, 1973 (Symposium):10-41.
- Hendriks, W. H., and P. J. Moughan. 1993. Whole-body mineral composition of entire male and female pigs depositing protein at maximal rates. *Livest. Prod. Sci.*; 33:161–170.
- Heras-Molina, A., J. L. Pesantez-Pacheco, S. Astiz, C. Consolación Garcia-Contreras, M. Vazquez-Gomez, T. Encinas, C. Óvilo, I. Isabel, and A. Gonzalez-Bulnes. 2020. Maternal Supplementation with Polyphenols and Omega-3 Fatty Acids during Pregnancy: Effects on Growth, Metabolism, and Body Composition of the Ospring. *Animals*; <https://doi.org/10.3390/ani10111946>
- Heyer, A., and B. Lebret. 2007. Compensatory growth response in pigs: Effects on growth performance, composition of weight gain at carcass and muscle levels, and meat quality. *J. Anim. Sci.*; 85:769-778. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-164>
- Hornicke, H. 1970. Circadian activity rhythms and the energy cost of standing in growing pigs. *Energy Metabolism of Farm Animals*, EAAP No. 13:Pp. 165-168.
- Horton, J. D., J. L. Goldstein, and M. S. Brown. 2002. SREBPs: activators of the complete program of cholesterol and fatty acid synthesis in the liver. *J. Clin. Invest.*; 109:1125-1131.
- Hoving, L. L., N. M. Soede, E. A. M. Graat, H. Feitsma, and B. Kemp. 2010. Effect of live weight development and reproduction in first parity on reproductive performance of second parity sows. *Anim. Repro. Sci.*; 122(1-2):82-89. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.07.009>
- Hurley, W. L. 2015. Composition of sow calostrum and milk. In: C. Farmer, editor, *The gestating and lactating sow*, Wageningen Academic Publishers. Libro.
- Huxley, J. S. 1932. *Problems of Relative Growth*. 1st ed. Methuen, London.
- Isabel, B., G. Cordero, A. Olivares, A. Daza, and C. J. Lopez-Bote. 2014. Differential response of Iberian and lean pig crossbreeds to dietary linoleic acid administration. *Span. J. Agric. Res.*; 12 (2):419-426. <https://doi.org/10.5424/sjar/2014122-4361>
- Isabel, B., C. Lopez-Bote, A. Rey, and R. Sanz Arias. 1999a. Influence of dietary alfa-tocopheryl acetate supplementation of pigs on oxidative deterioration and weight loss in sliced dry-cured ham. *Meat Sci.*; 51 (3):227-232. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00115-6](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00115-6)
- Isabel, B., M. Timón, R. Cava, C. García, J. Ruiz, J. M. Carmona, M. Soares, and C. Lopez-Bote. 1999b. Dietary α -tocopheryl acetate supplementation modifies volatile aldehyde and sensory properties of dry-cured hams. *Irish Journal of Agricultural Research* 38:137-138.
- Ji, F., W. L. Hurley, and S. W. Kim. 2006. Characterization of mammary gland development in pregnant gilts. *J. Anim. Sci.*; 84:579-587. <https://doi.org/10.2527/2006.843579x>

- Kensinger, R. S., R. J. Collier, and F. W. Bazer. 1986. Effect of number of conceptuses on maternal mammary development during pregnancy in the pig. *Domestic animal endocrinology*; 3:237-245.
- Kielanowski, J. 1965. Energy cost of protein deposition in growing animals. *Energy Metabolism*, EAAP. New York: Academic Press. 11:13.
- Kielanowski, S. 1969. Energy and protein metabolism in growing pigs. *Revista Cubana de Ciencia Agricola*; 3: 207–216.
- Kim, S.-W., Y.-I. Choi, J.-S. Choi, J.-J. Kim, B.-H. Choi, T.-H. Kim, and K.-S. Kim. 2011. Porcine fatty acid synthase gene polymorphisms are associated with meat quality and fatty acid composition. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*; 31:356-365.
- Kim, S. W., W. L. Hurley, I. K. Hant, and R. A. Easter. 2000. Growth of nursing pigs related to the characteristics of nursed mammary glands. *J. Anim. Sci.*; 78(5):1313-1318.
- Kim, S. W., W. L. Hurley, G. Wu, and F. Ji. 2009. Ideal amino acid balance for sows during gestation and lactation. *J. Anim. Sci.*; 87(14 Suppl):E123-132. doi: 10.2527/jas.2008-1452.
- Kim, S. W., I. Osaka, W. L. Hurley, and R. A. Easter. 1999. Mammary gland growth as influenced by litter size in lactating sows: impact on lysine requirement. *J. Anim. Sci.* 77 (2):3316-3321. <http://dx.doi.org/10.2527/1999.77123316x>.
- Kloareg, M., J. Noblet, and J. van Milgen. 2007. Estimation of whole body lipid mass in finishing pigs. *Anim. Sci.*; 82(02): 241-251. <https://doi.org/10.1079/asc200529>.
- Knabe, W. a. 1994. Free and Protein-Bound Amino Acids in Sow's Colostrum and Milk. *J. Nutr.*; 12(3):415-424. <https://doi.org/10.1093/jn/124.3.415>
- Knap, P. W., R. Roehe, K. Kolstad, C. Pomar, and P. Luiting. 2003. Characterization of pig genotypes for growth modeling. *J. Anim. Sci.*; 81:E187-E195. https://doi.org/10.2527/2003.8114_suppl_2E187x
- Knight, J. W. 1977. Conceptus development in intact and unilaterally hysterectomized-ovarectomized gilts. Interrelations among hormonal status, placental, fetal, fluids and fetal growth. *J. Anim. Sci.*; 44(4): 620-637. <https://doi.org/10.2527/jas1977.444620x>
- Kouba, M., and M. Bonneau. 2009. Compared development of intermuscular and subcutaneous fat in carcass and primal cuts of growing pigs from 30 to 140 kg body weight. *Meat Sci.*; 81:270-274.
- Kouba, M., and P. Sellier. 2011. A review of the factors influencing the development of intermuscular adipose tissue in the growing pig. *Meat Sci.*; 88:213-220.
- Kristensen, L., M. Therkildsen, B. Riis, M. T. Sørensen, N. Oksbjerg, P. P. Purslow, and P. Ertbjerg. 2002. Dietary-induced changes of muscle growth rate in pigs: effects on in vivo and postmortem muscle proteolysis and meat quality. *J. ANim. Sci.*; 80(11):2862-2871. <https://doi.org/10.2527/2002.80112862x>
- Krogh, U., Bruun, T.S., Amdi, C., Flummer, C., Poulsen, J. and Theil, P.K. 2015. Colostrum production in sows fed different sources of fiber and fat during late gestation. *Can. J. Anim. Sci.*; 95:211-223,
- Kyriazakis, I., and G. C. Emmans. 1993. Whole body amino acid composition of the growing pig. *J. Sci. Food Agric.*; 62:29-33. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740620104>.
- Kyriazakis, I., and G. C. Emmans. 1999b. Voluntary food intake and diet selection. *A Quantitative Biology of the Pig*, I. Kyriazakis, ed. Wallingford, Oxon, UK: CAB.:229-248.
- Lebret, B. 2007. Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass traits and meat quality in pigs. 6th International Symposium on the Mediterranean Pig. October 11-13, 2007, Messina-Capo d'Orlando (ME), Italy. Proceedings: 113-126.
- Li, N. 2003. Economic analysis of optimal production and marketing management strategies for swine production operations with Paylean. Ph.D Thesis, Department of Agric. Econ., Purdue University, West Lafayette, IN.
- Lindahl, G., K. Lundstrom, and E. Tornberg. 2001. Contribution of pigment content, myoglobin in forms and internal reflectance to the colour of pork loin and ham from pure breed pigs. *Meat Sci.*; 59:141–151.

- Liu, W. C., and I. H. Kim. 2017. Effects of different dietary n-6: n-3 PUFA ratios on growth performance, blood lipid profiles, fatty acid composition of pork, carcass traits and meat quality in finishing pigs. *Annals of Animal Science*; 18:143-154.
- López-Bote, C., G. Fructuoso, and G. G. Mateos. 2000. Sistemas de producción porcina y calidad de la carne. El cerdo ibérico. *Avances en nutrición y alimentación animal. XVI Curso de especialización FEDNA*.
- López-Bote, C., B. Isabel, and A. Rey. 1999. Efecto de la nutrición y el manejo sobre la calidad de la grasa de cerdo. *Avances en nutrición y alimentación animal. XV Curso de especialización FEDNA*; 223-252.
- Lopez-Bote, C. J. 1998. Sustained utilization of the Iberian pig breed. *Meat Sci.*; 49S1:S17-27.
- Lopez-Bote, C. J., F. Toldrá, A. Daza, J. M. Ferrer, D. Menoyo, L. Silió, and M. C. Rodríguez. 2008. Effect of exercise on skeletal muscle proteolytic enzyme activity and meat quality characteristics in Iberian pigs. *Meat Sci.*; 79 (1):71-76. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.08.002>
- Lopez Bote, C. J., B. Isabel, J. Ruiz, and A. Daza. 2003. Effect of Vitamin E supplementation and partial substitution of poly- with monounsaturated fatty acids in pig diets on muscle, and microsomal extract α -tocopherol concentration and lipid oxidation. *Archives of animal nutrition*; 57:11-25.
- Lovatto, P. A., D. Sauvant, and J. Van Milgen. 2000. Étude et modélisation du phénomène de croissance compensatrice chez le porc. *Journées Recherche Porcine en France* 32:241-246. doi: <http://journées-recherche-porcine.com/texte/2000/00txtAlim/A0011.pdf>
- Madsen, A., K. Jakobsen, and H. P. Mortensen. 1992. Influence of Dietary Fat on Carcass Fat Quality in Pigs. A Review. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A Animal Science*; 42:220-225.
- Mahan, D. C., and J. Shields, R. G. . 1998b. Essential and nonessential amino acid composition of pigs from birth to 145 kilograms of body weight, and comparison to other studies. *J. Anim. Sci.*; 76:513-521.
- Mahan, D. C., and R. G. Shields. 1998a. Macro and micromineral composition of pigs from birth to 145 kilograms of body weight. *J. Anim. Sci.*; 76(2):506–512. <https://doi.org/10.2527/1998.762506x>.
- Margetic, S., C. Gazzola, G. G. Pegg, and R. A. Hill. 2002. Leptin: a review of its peripheral actions and interactions. *International journal of obesity and related metabolic disorders*; 26 (11):1407-1433. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0802142>.
- Martínez, C. A., A. P. Rodríguez, A. Jiménez, and C. Manrique. 2010. Descripción matemática de la función de Gompertz aplicada al crecimiento de animales. *Rev. Med. Vet. Zoot.*
- Mathews, S. A. 2004. Investigating the effects of long chain polyunsaturated fatty acids on lipid metabolism and body composition in the neonatal pig. Ph.D Thesis. Dissertation, North Carolina State University, Raleigh, NC.
- Maughan, P. J. 1999. *A Quantitative Biology of the Pig*. Edited by I. Kyriazykis, Animal Biology Division Scottish Agricultural College Edinburgh, UK:299-324. Libro.
- Mayoral, A. I., M. Dorado, M. T. Guillén, A. Robina, J. M. Vivo, C. Vázquez, and J. Ruiz. 1999. Development of meat and carcass quality characteristics in Iberian pigs reared outdoors. . *Meat Sci.*; 52:315-324.
- McDonald, T. P., J. D.D., J. R. Barret, J. L. Albright, G. E. Miles, J. A. Nienaber, and G. L. Hahn. 1988. Measuring the heat increment of activity of growing-finishing swine. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 31:1180-1186.
- McMeekan, C. P. 1940. Growth and development in the pig, with special reference to carcass quality characteristics. *J. Agr. Sci.*; 30:276–289
- McPherson, R. L., F. Ji, G. Wu, J. R. Blanton, Jr., and S. W. Kim. 2004. Growth and compositional changes of fetal tissues in pigs. *J. Anim Sci.*; 82(9):2534-2540. <https://doi.org/10.2527/2004.8292534x>
- Mercado de Ganados Salamanca, D. d. S. La Lonja Agropecuaria de Salamanca.
- Mercolleida. a. Cotizaciones de la Lonja de Mercolleida. (Accessed <https://www.mercolleida.com/es>).
- Mersmann, H. J. 1986. Postnatal expression of adipose tissue metabolic activity associated with a porcine genetic obesity. *J. Anim. Sci.*; 63:741-746.

- Meyer, K. 1991. Estimating variances and covariances for multivariate animal models by Restricted Maximun Likelihood. *Genet. Sel. Evol.*; 23(1):67-83. <https://doi.org/10.1186%2F1297-9686-23-1-67>.
- Morel, P. C., J. Leong, W. G. Nuijten, R. W. Purchas, and B. H. Wilkinson. 2013. Effect of lipid type on growth performance, meat quality and the content of long chain n-3 fatty acids in pork meat. *Meat Sci.*; 95(2):151-159. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.047>
- Morrow, W. E. M., A. D. Leman, N. B. Williamson, R. B. Morrison, and R. A. Robinson. 1992. An epidemiological investigation of reduced second-litter size in swine. *Preventive Veterinary Medicine*; 12:15-26.
- Moughan, P. J. 1999. Protein metabolism in the growing pig. *Quantitative Biology of the Pig*, I. Kyriazakis, ed. Wallingford, UK: CABI.:299-331. Libro.
- Mullen, A., and D. Troy. 2005. Current and emerging technologies for the prediction of meat quality. *EAAP Publication. The Netherlands: Wageningen Academic*; 112 179-190.
- Muñoz Luna, A. 2006. Producir carne de cerdo en el siglo XXI, generando un nuevo orden zootécnico. *Planeta Agostini*. Libro.
- Muñoz Luna, A. 2018. Un producción singular. El porcino ibérico, dos visiones. *El sector porcino: De la incertidumbre al liderazgo*. Miguel Ángel Díaz Yubero. Cajamar. Libro.
- Muñoz, M., F. Sánchez-Esquiliche, C. Carballo, F. Gómez, J. M. Pariente, L. Silio, C. Rodríguez, and J. M. García-Casco. 2018. Animal breeding scheme applied to the quality of pure Iberian montanera pigs. In: A. d. Zootecnia (ed.) IX Simposio Internacional sobre el Cerdo Mediterráneo. p 9-11.
- Nechtelberger, D., V. Pires, J. Soolknet, Stur, G. Brem, M. Mueller, and S. Mueller. 2001. Intramuscular fat content and genetic variants at fatty acid-binding protein loci in Austrian pigs. *J. Anim. Sci.*; 79:2798-2804.
- Needham, T., and L. C. Hoffman. 2015. Physical meat quality and chemical composition of the Longissimus thoracis of entire and immunocastrated pigs fed varying dietary protein levels with and without ractopamine hydrochloride. *Meat Sci.*; 110:101-108. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.06.017>.
- Newcomb, M. D., R. S. Ott, T. van Kempen, Y. H. Lan, F. K. McKeith, J. E. Novakofski, P. J. Bechtel, and R. A. Easter. 1993. Effect of hyperalimentation on body composition in swine. *J. Anim. Sci.*; 71, 144-150.
- Nicholas, F. W. 1996. *Introduction to Veterinary Genetics*. Ed. Acribia. Libro.
- Nieto, R., and J. F. Aguilera. 2016. Alimentación de primales Ibéricos. In: G. Estación Experimental del Zaidín CSIC (ed.) V Congreso de la asociación nacional de veterinarios de porcino.
- Nieto, R., R. Barea, L. Lara, P. Palma-Granados, and J. F. Aguilera. 2015. Lysine requirement relative to total dietary protein for optimum performance and carcass protein deposition of Iberian piglets. *Anim. Feed Sci. Technol.*; 206:48-56. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2015.05.002.
- Nieto, R., L. Lara, R. Barea, R. García-Valverde, M. A. Aguinaga, J. A. Conde-Aguilera, and J. F. Aguilera. 2012. Response analysis of the Iberian pig growing from birth to 150 kg body weight to changes in protein and energy supply. *J. Anim. Sci.*; 90(11):3809-3820. <https://doi.org/10.2527/jas2011-5027>.
- Nieto, R., A. Miranda, M. A. García, and J. F. Aguilera. 2002. The effect of dietary protein content and feeding level on the rate of protein deposition and energy utilization in growing Iberian pigs from 15 to 50 kg body weight. *Br. J. Nutr.*; 88:39-49. <https://doi.org/10.1079/BJN2002591>
- Ninoles, L., G. Clemente, S. Ventanas, and J. Benedito. 2007. Quality assessment of Iberian pigs through backfat ultrasound characterization and fatty acid composition. *Meat Sci.*; 76(1):102-111. doi: 10.1016/j.meatsci.2006.10.018.
- Noblet, J., and M. Etienne. 1989. Estimation of sow milk nutrient output. *J. Anim. Sci.*; 67:3352-3359.
- Noblet, J., J. Y. Dourmad, and M. Etienne. 1990. Energy utilization in pregnant and lactating sows: modeling of energy requirements. *J. Anim. Sci.*; 68:562-572.
- Noblet, J., and M. Etienne. 1987. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in lactating sows. *J. Anim. Sci.*; 64:774-781.

- Noblet, J., H. Fortune, X. S. Shi, and S. Dubois. 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.*; 72(2):344-354.
- Noblet, J., Y. Henry, and S. Dubois. 1987. Effect of protein and lysine levels in the diet on body gain composition and energy utilization in growing pigs. *J. Anim. Sci.*; 65(3):717-726. doi: <http://jas.fass.org/content/65/3/717>
- Noblet, J., C. Karege, S. Dubois, and J. van Milgen. 1999. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: effects of sex and genotype. *J. Anim. Sci.*; 77(5):1208-1216. doi: <http://jas.fass.org/content/77/5/1208>
- Noblet, J., X. Shi, and S. Dubois. 1993. Metabolic utilization of dietary energy and nutrients for maintenance energy requirements in sows: basis for a net energy system. *Br. J. Nutr.*; 70, 407419
- Noblet, J., and J. van Milgen. 2004. Energy value of pig feeds: effect of pig body weight and energy evaluation system. *J. Anim. Sci.*; 82 E-Suppl:E229-238.
- Noblet, J. C., W. H. and Heavens, R. P. 1985. Studies on the energy metabolism of the pregnant sow. *Br. J. Nutr.*; 53 (02):251. <http://dx.doi.org/10.1079/BJN19850033>.
- Noblet, J. S., X.S. and Dubois, S. 1993. Energy cost of standing activity in sows. *Livest. Prod. Sci.*, 34 (1-2):127-136. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(93\)90041-F](https://doi.org/10.1016/0301-6226(93)90041-F).
- NRC. 1987. Predicting Feed Intake of Food-Producing Animals. Washington. DC. National Academy Press. National Research Council of the Nation Academies.
- NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine, 10th Ed. Washington. DC. . National Academy Press National Research Council of the Nation Academies.
- NRC. 2012. Nutrient Requirements of Swine. 11th Ed. Washington, DC. National Academy Press National Research Council of the Nation Academies.
- Oishi, Y., I. Manabe, K. Tobe, K. Tsushima, T. Shindo, K. Fujiu, G. Nishimura, K. Maemura, T. Yamauchi, and N. Kubota. 2005. Krüppel-like transcription factor KLF5 is a key regulator of adipocyte differentiation. *Cell. Metabolism.*; 1:27-39.
- Olivares, A., A. Daza, A. I. Rey, and C. J. Lopez-Bote. 2009. Interactions between genotype, dietary fat saturation and vitamin A concentration on intramuscular fat content and fatty acid composition in pigs. *Meat Sci.*; 82:6-12.
- Ovilo, C., R. Benitez, A. Fernandez, Y. Nunez, M. Ayuso, A. Isabel Fernandez, C. Rodriguez, B. Isabel, A. Isabel Rey, C. Lopez-Bote, and L. Silio. 2014a. Longissimus dorsi transcriptome analysis of purebred and crossbred Iberian pigs differing in muscle characteristics. *Bmc Genomics*; 15: 413. <https://doi.org/10.1186%2F1471-2164-15-413>.
- Ovilo, C., A. Gonzalez-Bulnes, R. Benitez, M. Ayuso, A. Barbero, M. L. Perez-Solana, C. Barragan, S. Astiz, and C. Lopez-Bote. 2014b. Prenatal programming in an obese swine model: sex-related effects of maternal energy restriction on morphology, metabolism and hypothalamic gene expression. *Br. J. Nutr.*; 111:735-746.
- Park, U. H., S. K. Yoon, T. Park, E. J. Kim, and S. J. Um. 2011. Additional sex comb-like (ASXL) proteins 1 and 2 play opposite roles in adipogenesis via reciprocal regulation of peroxisome proliferator-activated receptor {gamma}. *J. Biol. Chem.*; 286:1354-1363.
- Parra-Bracamonte, G. M. 2007. Tendencias Genéticas y Fenotípicas de Características de Crecimiento en el Ganado Brahman de Registro de México. *Revista Científica* 17:262-267.
- Pastorelli, G., M. Neil, and I. Wigren. 2009. Body composition and muscle glycogen contents of piglets of sows fed diets differing in fatty acids profile and contents. *Livest. Sci.*; 23(2-3):329-334. doi: 10.1016/j.livsci.2008.11.023
- Patherson, L. D., and R. Thompson. 1971. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. *Biometrika*; 58:545-554.
- Pomar, C. 2014. The utilization of mathematical models to improve swine production.
- Pomar, C., D. L. Harris, and F. Minvielle. 1991. Computer simulation model of swine production systems: II. Modeling body composition and weight of female pigs, fetal development, milk production, and growth of suckling pigs. *J. Anim. Sci.*; 69(4):1489-1502. <http://dx.doi.org/10.2527/1991.6941489x>.

- Pomar, C., L. Hauschild, G.-H. Zhang, J. Pomar, and P. A. Lovatto. 2009. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. *Revista Brasileira de Zootecnia*.
- Pond, W. G., and J. H. Maner. 1974. *Swine production and nutrition*. AVI Publishing, Westport, CT. Libro.
- Pugliese, C., R. Bozzi, G. Campodini, A. Acciaioli, O. Franci, and G. Gandini. 2005. Performance of Cinta Senese pigs reared outdoors and indoors. 1. Meat and subcutaneous fat characteristics. *Meat Sci.*; 69:459-464. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.09.001>
- Pugliese, C., and F. Sirtori. 2012. Quality of meat and meat products produced from southern European pig breeds. *Meat Sci.*; 90:511-518. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.09.019>
- Puig-Oliveras, A., Y. Ramayo-Caldas, J. Corominas, J. Estelle, D. Perez-Montarelo, N. J. Hudson, J. Casellas, J. M. Folch, and M. Ballester. 2014. Differences in muscle transcriptome among pigs phenotypically extreme for fatty acid composition. *PLoS One* 11(12); e0167858 9:e99720.
- Quiniou, N. 2021. Results of 15 Years of Precision Feeding of Hyper Prolific Gestating Sows. *Animals*; 11(10):2908. <https://doi.org/10.3390/ani11102908>.
- Quiniou, N., J. Y. Dourmad, and J. Noblet. 1996. Effect of energy intake on the performance of different types of pig from 45 to 100 kg body weight. 1. Protein and lipid deposition. *Anim. Sci.*; 63 (02). <https://doi.org/10.1017/S1357729800014831>
- Quiniou, N., and J. Noblet. 1995. Prediction of tissular body composition from protein and lipid deposition in growing pigs. *J. Anim Sci.*; 73:1567–1575. <http://jas.fass.org/content/73/6/1567>
- Ramis, G., F. J. Pallarés, A. Sáez-Acosta, and M. L. A. 2016. Uso de marcadores moleculares en mejora genética porcina. *Revista Anaporc*; 131:131.
- RD. 4/2014. 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. Ministerio de agricultura, Gobierno de España (ed.) No. 318.
- RD. 814/20108. Real Decreto 814/2018, de 6 de julio, por el que se establecen disposiciones de aplicación relativas a la clasificación de las canales de porcino. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente, Gobierno de España 9462.
- RIBER. Registro Informativo del Ibérico (RIBER). Buscador de censo de animales. <https://www.mapa.gob.es/app/riber/Publico/BuscadorCensoAnimales.aspx> Consultado: 16/08/2020. Registro informativo de organismos independientes de control del ibérico. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España.
- Richards, F. 1959 A flexible growth function for empirical use. *J Exp Bot* 10:290-300.
- Richmond, R. J., and R. T. Berg. 1971a. Tissue development in swine as influenced by liveweight, breed, sex and ration. *Can. J. Anim. Sci.*; 51:31–40.
- Richmond, R. J., and R. T. Berg. 1971b. Muscle growth and distribution in swine as influenced by liveweight, breed, sex and ration. *Can. J. Anim. Sci.*; 51:41–48.
- Rivera Ferre, M. G., J. F. Aguilera, and R. Nieto. 2006. Differences in whole-body protein turnover between Iberian and Landrace pigs fed adequate or lysine-deficient diets. *J. Anim. Sci.* 84:3346-3355.
- Rivera Ferre, M. G., J. F. Aguilera, and R. Nieto. 2005. Muscle fractional protein synthesis is higher in Iberian than in Landrace growing pigs fed adequate or lysine-deficient diets. *J. Nutr.*; 135:469-478. <https://doi.org/10.1093/jn/135.3.469>.
- Robinson, G. K. 1991. That BLUP is a good thing: the estimation of random effects. *Statist. Sci.*; 6(1):15-32. DOI: 10.1214/ss/1177011926.
- Rook, A., M. Ellis, C. T. Whittemore, and P. Phillips. 1987. Relationships between whole-body composition chemical composition, physical dissected carcass parts and backfat measurements in pigs. *Anim. Prod.*; 44:263–273.
- Rosen, E. D., P. Sarraf, A. E. Troy, G. Bradwin, K. Moore, D. S. Milstone, B. M. Spiegelman, and R. M. Mortensen. 1999. PPAR gamma is required for the differentiation of adipose tissue in vivo and in vitro. *Mol. Cell.*; 4:611-617.
- Ruiz, J., R. Cava, T. Antequera, L. Martín, J. Ventanas, and C. J. López-Bote. 1998. Prediction of the feeding background of Iberian pigs using the fatty acid profile of subcutaneous, muscle and hepatic fat. *Meat Sci.*; 49:155-163.

- Rymarz, A. 1986. Chemical body composition of growing pigs. Ca, P, K, Na and Mg contents in the body. *Pigs and News Info*; 7:177–181.
- Schinckel, A. P. 2011. Can the growth and carcass characteristics of market hogs be manipulated by nutrition? Purdue University. Swine research report
- Schinckel, A. P., M. E. Einstein, S. Jungst, C. Booher, and S. Newman. 2009. Evaluation of different mixed model nonlinear functions to describe the feed intakes of pigs of different sire and dam lines. *The Professional Animal Scientist*
- Schinckel, A. P., N. Li, P. V. Preckel, M. E. Einstein, and D. Miller. 2003a. Development of a stochastic pig compositional growth model. *The Professional Animal Scientist* doi: [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31414-5](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31414-5)
- Schinckel, A. P., N. Li, B. T. Richert, P. V. Preckel, and M. E. Einstein. 2003b. Development of a model to describe the compositional growth and dietary lysine requirements of pigs fed ractopamine. *Journal Animal Science* 81(5):1106-1119. doi: <http://jas.fass.org/content/81/5/1106>
- Schinckel, A. P., D. C. Mahan, T. G. Wiseman, and M. E. Einstein. 2008. Growth of protein, moisture, lipid, and ash of two genetic lines of barrows and gilts from twenty to one hundred twenty-five kilograms of body weight. *Journal Animal Science* 86(2):460-471. doi: 10.2527/jas.2007-0625
- Schinckel, A. P., C. R. Schwab, V. M. Duttlinger, and M. E. Einstein. 2010. Analyses of Feed and Energy Intakes During Lactation for Three Breeds of Sows. *The Professional Animal Scientist* 26(1):35-50. doi: 10.15232/s1080-7446(15)30556-8
- Schneider, W., G. Gaus, A. Michel, A. Susenbeth, and K. H. Menke. 1982. Effect of level of feeding and body weight on partition of energy in growing pigs. In: A. Ekern and F. Sundstol (Ed.) *Energy metabolism of farm animals*. EAAP. The Agric. Univ. of Norway. 29:96.
- Schulep, I. 2005. Dairy Food Consumption, Production, and Policy in Japan. Center for Agricultural and Rural Development. Iowa State University
- Schwab, C. R., T. J. Baas, and K. Stalder. 2010. Results from six generations of selection for intramuscular fat in Duroc swine using real-time ultrasound. II. Genetic parameters and trends. *Anim. Sci* 88:69-79.
- Seddon, I. R., Gos, P.M. and Bayley, H.S. 1991. Hyperalimentation of the pig. *FASEB* 5(5), A1294
- Serra, X. 1998. A comparison of carcass, meat quality and histochemical characteristics of Iberian (Guadyrbas line) and Landrace pigs. *Livestock Production Science*
- Serra, X., F. Gil, M. Perez-Enciso, M. A. Oliver, J. M. Vazquez, M. Gisper, I. Diaz, F. Moreno, R. Latorre, and J. L. Noguera. 1998. A comparison of carcass, meat quality and histochemical characteristics of Iberian (Guadyrbas line) and Landrace pigs. *Livestock Production Science* 56:215-223.
- Serrano, M. P., D. G. Valencia, A. Fuentetaja, R. Lazaro, and G. G. Mateos. 2009. Influence of feed restriction and sex on growth performance and carcass and meat quality of Iberian pigs reared indoors. *Journal Animal Science* 87:1676-1685. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2008-0989>
- Serrano, M. P., D. G. Valencia, M. Nieto, R. Lazaro, and G. G. Mateos. 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(4):420-428. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.006>
- Silió, L. 2000. Iberian pig breeding programme. International Committee for Animal Recording, Roma.
- Singh, I., O. Lazo, G. S. Dhaunsi, and M. Contreras. 1992. Transport of fatty acids into human and rat peroxisomes. Differential transport of palmitic and lignoceric acids and its implication to X-adrenoleukodystrophy. *J Biol Chem* 267:13306-13313.
- Skiba, G., S. Raj, and E. Polawska. 2013. Profile of fatty acids and activity of elongase and $\Delta 5$ and $\Delta 9$ desaturase of growing pigs differ in concentration of intramuscular fat in musculus longissimus dorsi. *Animal Science Papers and Reports* 31:123-137.
- Susenbeth, A., and K. H. Menke. 1991. Energy requirement for physical activity in pigs. *Energy Metabolism of Farm Animals*, C. Wenk and M. Boessinger, eds. Zurich: ETH.:Pp. 416-419
- Tess, M. V., G. E. Dickerson, J. A. Nienaber, J. T. Yen, and C. L. Ferrel. 1984b. Energy costs of protein and fat deposition in pigs fed ad libitum. *Journal of Animal Science* 58:111-122

- Thaker, M. Y., and G. Bilkei. 2005. Lactation weight loss influences subsequent reproductive performance of sows. *Animal Reproduction Science* 88(3-4):309-318. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.10.001>
- Thomas, A., V. Miller, A. Shenkin, G. Fell, and F. Taylor. 1994. Selenium and glutathione peroxidase status in paediatric health and gastrointestinal disease. *Pediatric gastroenterology and nutrition* 19:213.
- Tontonoz, P., E. Hu, and B. M. Spiegelman. 1994. Stimulation of adipogenesis in fibroblasts by PPAR gamma 2, a lipid-activated transcription factor. *Cell* 79:1147-1156.
- Torrallardona, D., and R. Roura. 2009. *Voluntary Feed Intake in Pigs*. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic.
- Torres-Rovira, L., S. Astiz, A. Caro, C. Lopez-Bote, C. Ovilo, P. Pallares, M. L. Perez-Solana, R. Sanchez-Sanchez, and A. Gonzalez-Bulnes. 2012. Diet-induced swine model with obesity/leptin resistance for the study of metabolic syndrome and type 2 diabetes. *Scientific World Journal*:510149.
- Trijp, v. 1997. Quality labelling as instrument to create product equity: the case of IKB in the Netherlands WIERENGA, B. *et alii* (eds.): *Agricultural marketing and consumer behaviour in a changing world*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers:201-216.
- Tuohetahunttila, M., B. Spee, H. S. Kruitwagen, R. Wubbolts, J. F. Brouwers, C. H. van de Lest, M. R. Molenaar, M. Houweling, J. B. Helms, and A. B. Vaandrager. 2015. Role of long-chain acyl-CoA synthetase 4 in formation of polyunsaturated lipid species in hepatic stellate cells. *Biochim Biophys Acta* 185:220-230.
- Usero, G., M. Ferreres, M. Galván, A. Velasco, M. B. Linares, M. D. Garrido, C. Mendonça, G. Ramis, F. Gil, and A. Muñoz. 2016a. Modelización nutricional y parametrización zootécnica del ibérico de cebo en un cruce al 50% (♂duroc ifm topignorsvin x ♀retinto vallehermoso),. *Anvepi* 2016.
- Usero, G., F. Gil, M. Galván, M. Ferreres, and A. Muñoz. 2016b. 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., J. Bernier, Y. Lecozler, S. Dubois, and J. Noblet. 1998. Major determinants of fasting heat production and energetic cost of activity in growing pigs of different body weight and breed/castration combination. *British Journal of Nutrition* (1998), 79, 509-517
- van Milgen, J., N. Quiniou, and J. Noblet. 2000b. Modelling the relation between energy intake and protein and lipid deposition in growing pigs. *Journal Animal Science* doi: <https://doi.org/10.1017/S1357729800054941>
- van Milgen, J., A. Valancogne, S. Dubois, J. Y. Dourmad, B. Sève, and J. Noblet. 2008. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Animal Feed Science and Technology* 143(1-4):387-405. doi: <http://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.020>
- Vázquez-Gómez, M., C. García-Contreras, S. Astiz, L. Torres-Rovira, E. Fernandez-Moya, A. Olivares, A. Daza, C. Óvilo, A. González-Bulnes, and B. Isabel. 2018b. Piglet birthweight and sex affect growth performance and fatty acid composition in fatty pigs. *Animal Production Science*
- Vázquez-Gómez, M., C. García-Contreras, L. Torres-Rovira, S. Astiz, C. Óvilo, A. González-Bulnes, and B. Isabel. 2018a. Maternal undernutrition and offspring sex determine birth-weight, postnatal development and meat characteristics in traditional swine breeds. *Journal of animal science and biotechnology* 9:27.
- Ventanas, S., M. Estevez, J. F. Tejada, and J. Ruiz. 2006. Protein and lipid oxidation in Longissimus dorsi and dry cured loin from Iberian pigs as affected by crossbreeding and diet. *Meat Science* 72(4):647-655. doi: 10.1016/j.meatsci.2005.09.011
- Verstegen, M. W. 1985. Energy balances of lactating sows in relation to feeding level and stage of lactation.
- Verstegen, M. W., and S. E. Curtis. 1988. Energetics of sows and gilts in gestation crates in the cold. *Animal Science* 66:2865-2875.

- Wagner, J. R., A. P. Schinckel, W. Chen, J. C. Forrest, and B. L. Coe. 1999. Analysis of body composition changes of swine during growth and development. *Journal of animal science* 77(6):1442-1466.
- Walstra, P. 1980. Growth and carcass composition from growth to maturity relation to feeding level and sex in Dutch Landrace pigs. . Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.
- Webster, A. J. F. 1993. Energy partitioning, tissue growth and appetite control. *Proceedings of the Nutrition Society* 52, 69–76
- Weiler, U., H. J. Appell, M. Kremser, S. Hofacker, and R. Claus. 1995. Consequences of selection on muscle composition. A comparative study on gracilis muscle in wild and domestic pigs. *Journal of Veterinary Medicine* 24:77-80.
- Whittemore, C. T. 1993. *The Science and Practice of Pig Production*.
- Whittemore, C. T. 1994. Growth and the simulation of animal responses. In: Cole, D.J.A., Wiseman, J., Varley, M.A. (eds), *Principles of Pig Science*. Nottingham University Press, Nottingham, pp. 55–74.
- Whittemore, C. T., and R. H. Fawcett. 1976. Theoretical aspects of a flexible model to stimulate protein and lipid growth in pigs. *Animal Production* 22(1)doi: 10.1017/S0003356100035455
- Wigmore, P. M., and N. C. Stickland. 1983. Muscle development in large and small pig fetuses. *Anat. sep;137 (Pt 2):235-245*.
- Williams, I. H., W. H. Close, and D. J. A. Cole. 1985. *Recent advances in animal nutrition*, Nottingham. Cole D.J.A. (Ed):133-147.
- Williams, N. H., T. S. Stahly, and D. R. Zimmerman. 1993. Impact of immune system activation and dietary amino acid regimen on nitrogen retention of pigs. *Journal of Animal Science* 50:886-891 71:171.
- Wood, J. 1984. Fat deposition and the quality of fat tissue in meat animals. *Fats in animal nutrition* (Wiseman J, ed). Butterworths, London, UK. :407-435.
- Wood, J. D., M. Enser, A. V. Fisher, G. R. Nute, P. R. Sheard, R. I. Richardson, S. I. Hughes, and F. M. Whittington. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science* 78(4):343-358. doi: 10.1016/j.meatsci.2007.07.019
- Wood, P. D. P. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. . *Nature* 216:164–165.
- Wu, G. O., Troy L.Knabe,Darrell A. and Bazer,Fuller W. . 1999. Amino Acid Composition of the Fetal Pig.
- Yagüe, M. 1996. Otras formas de competir: diferenciación de productos y comercialización. *Revista Situación: Serie Estudios Regionales* 1:201-215.
- Zhang, Y., I. G. Partridge, H. D. Keal, and K. G. Mitchell. 1984. Dietary amino acid balance and requirements for pigs weaned at 3 weeks of age. *Anim. Prod.* 39:441