



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIA ANIMAL

VARIABILIDAD GENÉTICA DE LA CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJO

TESIS DOCTORAL

Beatriz Ariño Lorente

Valencia, 2006

Directora: Pilar Hernández Pérez

RESUMEN

El principal objetivo fue el estudio de la variabilidad genética entre tres líneas de conejo en características de calidad de la canal y de la carne. Se compararon conejos procedentes de tres líneas sintéticas. La línea V y A fueron seleccionadas por tamaño de camada al destete y la línea R se seleccionó por velocidad de crecimiento entre el destete y el tiempo de sacrificio. Se sacrificaron 40 animales de cada línea a las 9 semanas de edad. Las comparaciones entre las líneas se realizaron usando técnicas de estadística Bayesiana. La línea R tuvo un mayor ratio músculo/hueso y mayor porcentaje de lomo que las líneas A y V, pero presentó un menor rendimiento al sacrificio y menor porcentaje de parte trasera. Se encontraron algunas diferencias entre líneas en el color de la canal y la carne de conejo. No se encontraron diferencias en la actividad de los enzimas metabólicos. También se estudio la textura de la carne y diversas características bioquímicas que influyen en la terneza de la carne. Se midieron las actividades de catepsinas, el contenido en colágeno y las propiedades de textura medidas por los métodos de Warner-Bratzler (WB) y Análisis de Perfil de Textura. La línea R que la línea V y la línea A presentó una terneza intermedia. La carne de conejo de la línea R tuvo una mayor actividad de catepsinas B y B+L, menor contenido total de colágeno, menor cohesividad, elasticidad y masticabilidad, y menor fuerza de corte y trabajo total (área bajo la curva obtenida con el método WB) que la línea V. La línea A presentó valores intermedios entre las líneas R y V en las propiedades de textura. Se realizó un análisis sensorial del músculo *Longissimus*. Los parámetros evaluados fueron: jugosidad (J), dureza (H), fibrosidad (F), harinosidad (Fl), intensidad de flavor a carne de conejo (IRF), olor y flavor anisado (AO y AF), olor y sabor a hígado (LO, LF). La línea V fue solamente un 82% tan jugosa como la línea R. La línea V fue un 18% más dura y un 17% más fibrosa que la línea R. No hubo diferencias entre las líneas A y R para H y F. No se encontraron diferencias entre líneas en Fl. Se encontraron pequeños efectos para las características relacionadas con el flavor. Nuestros resultados muestran evidencia de la existencia de variabilidad genética entre las líneas en caracteres relativos a la calidad de la canal y de la carne. Esta variabilidad no se debe al distinto grado de madurez a un mismo peso entre las líneas, porque estas fueron medidas aproximadamente en el mismo grado de madurez, por lo que debe concluirse que son diferencias genéticas entre ellas.

ABSTRACT

The main objective was the study of genetic variability between three rabbit lines in carcass and meat quality. Rabbits from three synthetic lines were compared. Line V and A were selected for litter size at weaning and line R was selected for growth rate between weaning and slaughter time. Forty animals of each line were slaughtered at 9 week of age. Comparisons between lines were made using Bayesian statistical techniques. Line R had a higher meat/bone ratio and higher loin percentage than A and V, but lower dressing out and lower hind part percentages. Some differences between lines in carcass and meat colour were found. No differences were found for the activity of energy metabolic enzymes. Meat texture and some biochemical characteristics that could influence meat tenderness were also studied in rabbit loins. The activities of cathepsins, collagen content and textural properties measured by Warner-Bratzler (WB) shear device and by the texture profile analyses (TPA) test were measured. Line R was more tender than line V and line A had an intermediate tenderness. Rabbit meat from line R had higher activity of cathepsins B and B+L, lower total collagen content and lower cohesiveness, springiness and chewiness, shear force and total work (area under the curve obtained with WB device) than line V. Line A had an intermediate texture between lines R and V. A sensory analysis was carried out on *Longissimus muscle*. The parameters evaluated were: juiciness (J), hardness (H), fibrousness (F), flouriness (Fl), intensity of rabbit flavour (IRF), aniseed odour (AO), aniseed flavour (AF), liver odour (LO) and liver flavour (LF). Line V was only an 82% as juicy as line R. Line V was an 18% harder and a 17% more fibrous than line R. Lines A and R had the same H and F. No differences in Fl were found. Small effects were found for flavour traits. Our results show evidence of genetic variation between lines in carcass and meat quality, especially in meat tenderness. The different parameters studied indicate that the meat from rabbits of line R, selected for growth rate is the most tender. As lines were measured at the same age, they are close to the same stage of maturity, thus differences between lines should be attributed to genetic differences.

RESUM

El principal objectiu va ser l'estudi de la variabilitat genètica entre tres línies de conill en característiques de qualitat de la canal i de la carn. Es van comparar conills procedents de tres línies sintètiques. La línia V i A van ser seleccionades per grandària de ventrada al deslletament i la línia R es va seleccionar per velocitat de creixement entre el deslletament i el temps de sacrifici. Es van sacrificar 40 animals de cada línia a les 9 setmanes d'edat. Les comparacions entre les línies es van realitzar usant tècniques d'estadística Bayesiana. La línia R va tindre un major ràtio múscul/os i major percentatge de llom que les línies A i V, però va presentar un menor rendiment al sacrifici i menor percentatge de part posterior. Es van trobar algunes diferències entre línies en el color de la canal i la carn de conill. No es van trobar diferències en l'activitat dels enzims metabòlics. També s'estudie la textura de la carn i diverses característiques bioquímiques que influïxen en la tendresa de la carn. Es van mesurar les activitats de catepsinas, el contingut en col·lagen i les propietats de textura mesures pels mètodes de Warner-Bratzler (WB) i Anàlisi de Perfil de Textura. La línia R que la línia V i la línia A va presentar una tendresa intermèdia. La carn de conill de la línia R va tindre una major activitat de catepsinas B i B+L, menor contingut total de col·lagen, menor cohesivitat, elasticitat i mastegabilitat, i menor força de tall i treball total (àrea davall la corba obtinguda amb el mètode WB) que la línia V. La línia A va presentar valors intermedis entre les línies R i V en les propietats de textura. Es va realitzar un anàlisi sensorial del múscul *Longissimus*. Els paràmetres avaluats van ser: suculència (J), duresa (H), fibrositat (F), farinós (Fl), intensitat de flavor a carn de conill (IRF), olor i flavor anisat (AO i AF), olor i sabor a fetge (EL, LF). La línia V va ser només un 82% tan sucosa com la línia R. La línia V va ser un 18% més dura i un 17% més fibrosa que la línia R. No va haver-hi diferències entre les línies A i R per a H i F. No es van trobar diferències entre línies en Fl. Es van trobar xicotets efectes per a les característiques relacionades amb el flavor. Els nostres resultats mostren evidència de l'existència de variabilitat genètica entre les línies en caràcters relatius a la qualitat de la canal i de la carn. Esta variabilitat no es deu al distint grau de maduresa a un mateix pes entre les línies, perquè estes van ser mesures aproximadament en el mateix grau de maduresa, per la qual cosa ha de concloure's que són diferències genètiques entre elles.

TABLA DE CONTENIDOS:

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1-Introducción	1
1.1.1-Producción y consumo de la carne de conejo	1
1.2- Calidad de la carne de conejo	2
1.2.1- Concepto de calidad	2
1.2.2- Calidad nutritiva	3
1.2.2.1. Composición química	3
1.2.2.2. Composición lipídica de la carne	5
1.2.2.3 Valor biológico de las proteínas y composición en aminoácidos	7
1.2.2.4. Minerales y vitaminas	7
1.2.3- Calidad Organoléptica	8
1.2.3.1. Color	8
1.2.3.2. Capacidad de retención de agua y jugosidad	10
1.2.3.3. Terneza	12
1.2.3.3.1. Longitud de los sarcómeros	12
1.2.3.3.2. Degradación miofibrilar	13
1.2.3.3.3. Tejido conectivo	15
1.2.3.3.4. Otros factores que influyen en la terneza	16
1.2.3.4. Aroma y Sabor	17
1.3- Factores que modifican la calidad de la carne de conejo	17
1.3.1-Efecto de la selección genética sobre la calidad de la carne de conejo	17
1.3.1.1. Variabilidad genética entre razas	17
1.3.1.2. Variabilidad genética dentro de raza	19
1.3.1.3. Consecuencias de la selección por velocidad de crecimiento en la calidad de la carne	20
1.3.2- Efecto de la dieta en la calidad de la carne de conejo	22
1.3.2.1. Efecto de la grasa de la dieta en la calidad de la carne	22
1.3.2.2. Antioxidantes y aditivos	23
1.3.3- Influencia de los tipos de crianza en la calidad de la carne	

de conejo	24
1.3.3.1. Calidad de la canal y de la carne en sistemas de alojamiento en grades jaulas en naves	25
1.3.3.2. Calidad de la canal y de la carne en sistemas de producción al aire libre	26
1.3.3.3. Calidad de la canal y de la carne en la producción orgánica	27
2. OBJETIVOS	29
3. CAPÍTULO I: Comparison of carcass and meat characteristics of three rabbit lines selected for litter size or growth rate	30
4. CAPÍTULO II: Comparison of texture and biochemical characteristics of three rabbit lines selected for litter size or growth rate	47
5. CAPÍTULO III: Comparison between rabbit lines for sensory meat quality. A Bayesian approach	65
6. DISCUSIÓN GENERAL	81
7. CONCLUSIONES	83

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. INTRODUCCIÓN

1.1.1. PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE LA CARNE DE CONEJO

La cunicultura como producción pecuaria ha experimentado un ritmo de crecimiento importante en las últimas décadas, principalmente en los países europeos. Según la F.A.O. la producción mundial de carne de conejo se estima en un millón de toneladas, concentrándose el 50% de la producción en tres países: Italia (221.000 t), España (145.000 t) y Francia (85.500 t), siendo China el principal productor (425.000 t) (FAO-STAT, 2004). No obstante, la cunicultura es un subsector ganadero modesto que aporta aproximadamente un 2-3% del total de la carne del mercado de nuestro país.

Según los datos facilitados por el M.A.P.A. (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación) en la encuesta nacional de cunicultura del año 2003, se puede observar una tendencia constante en el número de explotaciones desde 1990 hasta 2003 (el número de explotaciones en España en 2003 es de 5.644).

En el número de explotaciones, por comunidades autónomas destacan Cataluña (2.344), Aragón (546), Comunidad Valenciana (474) y Castilla y León (470) alcanzando entre las cuatro el 68% del total de explotaciones nacionales. En cuanto al sacrificio de conejos en mataderos, sigue destacando Cataluña con 15.568 t de canal, seguido de la Comunidad Valenciana con 5.994 t, en tercer y cuarto lugar se encuentra Aragón y Castilla-León con 4.267 y 3.757 t de canal respectivamente.

El número total de animales sacrificados en España en el año 2005 fue de 63.882 (miles), siendo el peso total de la canal en toneladas de 73.621. En cuanto al consumo, en España se estima entre un 1.8 y un 2.25 kg/ hab y año (MAPA, 2003).

La carne de conejo es una carne cara ya que la proporción de los costes derivados de la mano de obra, inversión o cualquier coste fijo son mayores en conejo que en pollo o cerdo. En los últimos años los cambios en la comercialización de la carne de conejo han sido menos importantes que en otros tipos de carnes (Dalle Zotte, 2002).

Tradicionalmente la carne de conejo se comercializa como canales enteras, y desde hace algunos años se ha desarrollado un mercado de canales troceadas. Una posible forma de incrementar el consumo de carne de conejo podría ser a través de presentaciones más atractivas para el consumidor, desarrollando productos cárnicos y platos preparados en los que participe la carne de conejo; y así mismo, asegurar y mantener la calidad de la carne de conejo.

1.2. CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJO

1.2.1. CONCEPTO DE CALIDAD DE CARNE

El concepto de calidad de carne varía ampliamente en función de a quien va dirigido, desde el productor o el distribuidor hasta el consumidor, pero es éste último el que juzga finalmente el producto y por lo tanto su concepción es la más importante. La calidad podría definirse como la totalidad de las propiedades y características de un producto o servicio, que le confiere su aptitud para satisfacer las necesidades establecidas o implícitas (norma ISO 9000). En el caso de la carne, podemos considerar la calidad desde distintos puntos de vista: calidad organoléptica o sensorial, calidad nutricional, calidad tecnológica y calidad higiénica. La calidad organoléptica o sensorial está determinada por el conjunto de características percibidas en el momento de la compra y del consumo, y que influyen en la satisfacción sensorial; la calidad nutricional viene determinada por la composición de la carne y su contenido en nutrientes; la calidad tecnológica se refiere a las propiedades de la carne relacionadas con su aptitud para las transformaciones y la conservación; en el caso de la calidad higiénica, la carne, como cualquier otro alimento, debe poder ser consumida sin que suponga ningún riesgo para la salud, sin defectos ni microbiológicos ni toxicológicos. Además, en los últimos 10-15 años en los países europeos ha habido un incremento en la preocupación por el modo en que los alimentos son producidos, esto ha conducido a un aumento del interés en los sistemas de producción orgánicos y en el bienestar animal (Grunert et al., 2004).

La carne de conejo es una carne apreciada por sus propiedades nutricionales y dietéticas como se comentará a continuación. En esta revisión también se tratará de los aspectos organolépticos de la calidad de la carne de conejo, tales como el color, la jugosidad, la ternura y el flavor.

1.2.2. CALIDAD NUTRITIVA

1.2.2.1. Composición química

Los componentes mayoritarios de la carne son, el agua, las proteínas y los lípidos. Las principales características nutricionales derivan tanto del porcentaje como de la composición de estos dos grupos de nutrientes en la carne. Por un lado las proteínas de la carne son de alto valor biológico pues contienen todos los aminoácidos esenciales, mientras que por otro lado los lípidos son una importante fuente de energía y de ácidos grasos esenciales. Además del aporte de proteínas y lípidos, la carne también es una fuente importante de micronutrientes, vitaminas del grupo B y hierro en forma asimilable (Lombardi-Boccia et al 2005).

La composición química de la carne y por tanto su valor nutritivo varía con la especie. Así por ejemplo, la carne de conejo presenta un contenido elevado de proteínas (21.3 g/100g de fracción comestible) en relación al contenido de proteínas de la carne de otras especies como el porcino (18.5 g/100g) o el vacuno (19.5g/100g), (Dalle Zotte, 2004). Además el valor biológico de las proteínas de la carne de conejo es elevado debido a la presencia simultánea de todos los aminoácidos esenciales para el anabolismo proteico del organismo (Combes, 2004).

La composición química de la carne también varía dentro de cada especie, dependiendo de la porción de la canal considerada. Por ejemplo Pla et al. (2004) (Tabla 1) encuentran que en la carne de conejo, el contenido más bajo en proteínas corresponde a la caja torácica (18.7g/100g de porción comestible), mientras que los contenidos más altos en proteínas corresponden a la carne del lomo y de la pierna trasera (22.1 y 21.2 g/100g de porción comestible respectivamente).

El contenido en grasa de la carne de conejo, como en otras especies es un dato extremadamente variable, pues depende de factores como la edad de los animales, la alimentación, el sexo o la parte de la canal analizada. Dalle Zotte (2004) ofrece valores del contenido de grasa de la carne de conejo desde 0.6g/100g hasta 14 g/100g con un valor medio de 6.8g/100g. En la tabla 1 se muestran valores de grasa de distintitos cortes de la canal de conejo. La parte de la canal más magra es el lomo (1.2 g de

lípidos/100g de carne comestible), mientras que la pierna contiene una cantidad de grasa de alrededor de 3g/100g de carne comestible (Pla et al., 2004).

Table 1. Composición química de la carne de los diferentes cortes de la canal de conejo^a

		m	s.d.	Rango	C.V. x 100
Pierna delantera	Proteína bruta	20.2	0.72	19.0-22.0	3.57
	Grasa bruta	7.43	2.76	3.12-13.8	37.2
	Humedad	71.2	3.23	63.9-76.9	4.53
Caja torácica	Proteína bruta	18.7	1.19	16.0-20.8	6.37
	Grasa bruta	12.8	4.97	4.90-22.3	38.8
	Humedad	66.9	4.88	57.0-76.1	7.30
Músculos LD	Proteína bruta	22.1	0.59	20.8-23.0	2.67
	Grasa bruta	1.20	0.36	0.62-1.94	30.0
	Humedad	75.6	0.89	73.8-77.9	1.18
Paredes abdominales	Proteína bruta	20.9	0.75	19.5-22.6	3.59
	Grasa bruta	7.56	3.84	2.21-19.7	5.08
	Humedad	70.1	4.38	57.2-77.0	6.24
Espinazo	Proteína bruta	20.7	0.69	19.0-22.2	3.34
	Grasa bruta	7.93	4.33	2.02-23.2	54.6
	Humedad	70.0	4.68	53.6-77.0	6.68
Pierna trasera	Proteína bruta	21.2	0.49	20.4-22.5	2.31
	Grasa bruta	3.03	1.01	1.32-6.10	33.3
	Humedad	74.7	1.28	71.9-77.0	1.71
Canal de referencia	Proteína bruta	20.8	0.51	19.7-21.9	2.45
	Grasa bruta	7.09	2.82	2.01-13.3	39.8
	Humedad	71.2	3.06	64.4-76.8	4.30

LD = *longissimus dorsi*; m = media (g / 100 g de carne comestible); s.d. = desviación estandar; C. V. = coeficiente de variación.

^a Tomado de Pla M., Pascual M., **Ariño B.**, (2004)

1.2.2.2. *Composición lipídica de la carne*

La grasa de la carne está compuesta mayoritariamente por triglicéridos (lípidos de reserva) y en menor medida por fosfolípidos y colesterol (lípidos de estructura). Los fosfolípidos son los constituyentes de las membranas celulares y están presentes en el músculo en cantidades muy poco variables. Su contenido oscila entre 0.5 y 1 g/100 g de músculo fresco dependiendo del tipo metabólico muscular (Alasnier et al., 1996). Al contrario que los fosfolípidos, los triglicéridos, que son los principales componentes de la grasa, son muy variables como ya hemos comentado anteriormente. En relación al colesterol, la carne de conejo presenta un moderado contenido en colesterol (45mg/100g de carne fresca) inferior al contenido que presentan las carnes de otras especies como el cerdo (60mg/100g), la ternera (66mg/100g) o el pollo (81mg/100g), (Dalle Zotte, 2004).

Los ácidos grasos se clasifican, en función del número de átomos de carbono y los tipos de enlace, en: ácidos grasos saturados (SFA), monoinsaturados (MUFA) y poliinsaturados (PUFA). En la tabla 2 se muestran los porcentajes de los principales ácidos grasos de la carne de conejo. Los lípidos de la carne de conejo contienen una tasa de SFA de 39.0%, comparable a la de las carnes de cerdo (37.0%) o ternera (38.9%). Sin embargo la tasa de PUFA es mayor (33.75%) en relación a dichas especies 18.5% en cerdo y 15.2 % en ternera. (Combes 2004). De los PUFA que contiene la carne de conejo el ácido linoleico (C18:2) es el mayoritario (29.06 y 21.99 % en la carne de la pierna y del lomo respectivamente). Por otro lado, el ácido linolénico (C18:3) representa un 3.02 % en la carne de la pierna, porcentaje inferior al compararlo con el anterior, pero superior al de las carnes de cerdo (0.55%), pollo (0.49%) o ternera (0.42%) (Combes, 2004). La importancia nutricional de estos dos ácidos grasos reside en que son los dos ácidos grasos esenciales precursores de los ácidos grasos de la familia ω -6 y ω -3. El ácido linoleico es el precursor de los ácidos araquidónico (C20:4) y docosapentanoico (C22:5) y el ácido linolénico es precursor de los ácidos eicosapentanoico o EPA (C20:5) y docosahexanoico o DHA (C22:6).

La presencia de PUFA en la dieta en las cantidades adecuadas ha sido relacionada con la prevención de las enfermedades cardiovasculares y el cáncer. Según la ISSFAL (2004) una dieta adecuada para un buen mantenimiento de la salud de una persona

adulta debe incluir cantidades de ácido linoleico correspondientes al 2% de la energía de la dieta y del 0.7% en el caso del ácido linolénico, y para la prevención de enfermedades cardiovasculares la dieta debe incluir una cantidad mínima de EPA+DHA de 500 mg al día.

La carne de conejo supone una excelente fuente de ácidos grasos ω -6 pero su contenido en ácidos grasos ω -3 es algo limitado, siendo especialmente bajas las concentraciones de EPA y DHA (Ramírez et al., 2005). No obstante, las cantidades de ácidos grasos ω -3 de la carne de conejo pueden ser incrementadas a través de la dieta (Dal Bosco et al., 2004). Como consecuencia del elevado contenido de ácidos grasos ω -6 y bajo contenido de ácidos grasos ω -3, el ratio ω -6: ω -3 en la carne de conejo es algo elevado, con valores de 7 (Dal Bosco et al., 2004) y 11 (Ramírez et al., 2005). Estrategias para reducir este ratio serían muy interesantes para mejorar la calidad nutritiva de la carne de conejo.

Tabla 2. Porcentajes relativos de los principales ácidos grasos de la carne de la pierna y del lomo de conejo

Acidos grasos	Pierna ^a	Lomo ^b	Carne ^c
C14:0 (mirístico)	2.48	3.05	2.81
C16:0 (palmítico)	26.50	29.24	27.86
C18:0 (esteárico)	6.91	6.50	7.49
SFA	36.86	40.21	39.00
C16:1 <i>cis</i> ω 7(palmitoleico)	2.79	3.77	3.75
C18:1 ω 9 (oleico)	23.51	24.98	24.22
MUFA	28.54	29.95	27.97
C18:2 ω 6 (linoleico)	29.06	21.99	23.55
C18:3 ω 3 (α -linolénico)	3.02	2.71	2.41
C20:4 ω 6 (araquidónico)	1.77	3.49	3.31
PUFA	34.59	29.84	33.75

^a Adaptado de Ramírez et al., (2005)

^b Adaptado de Alasnier et al., (1996)

^c Adaptado de Combes & Dalle Zotte (2005)

1.2.2.3. Valor biológico de las proteínas y composición en aminoácidos

El porcentaje de proteínas de la carne es poco variable, como hemos comentado anteriormente, con valores de alrededor de 21% (tabla 1). En comparación con las proteínas vegetales, las proteínas de la carne son ricas en aminoácidos esenciales. En la tabla 3 se muestra la composición de aminoácidos de la carne de conejo. Además, la carne de conejo es una carne tierna y fácil de digerir debido a su bajo contenido en elastina (Ouhayoun & Lebas, 1987) y la gran solubilidad de su colágeno (Combes et al., 2003).

Tabla 3. Composición en aminoácidos de la carne de conejo ^a

Aminoácidos	mg/100 g de carne
Lisina	1.85
Metionina - Cisteína	1.10
Histidina	0.53
Treonina	1.16
Valina	0.99
Isoleucina	0.99
Leucina	1.81
Arginina	1.23
Tirosina	0.73
Fenilalanina	1.03
Triptófano	0.21

^a Adaptado de Dalle Zotte (2004)

1.2.2.4. Minerales y Vitaminas

El contenido en minerales y vitaminas de la carne varía entre especies. La carne de conejo se caracteriza por su bajo contenido en sodio (49 mg/100g) y hierro (1.4 mg/100g) y su alto contenido en fósforo (277 mg/100g) y potasio (364 mg/100g) en relación a otras especies como el vacuno, el porcino o el ovino (Combes 2004). Otros constituyentes de la fracción mineral de la carne de conejo son el magnesio y el calcio (27 y 8.7 mg/100 mg de carne de la pierna, respectivamente; Hermida et al., 2006). También se encuentran presentes como elementos traza el zinc, el cobre y el manganeso

(1.09, 0.078 y 0.033 mg /100 mg de carne de la pierna, respectivamente; Hermida et al., 2006). El nivel de selenio de la carne varía en función de la dieta. Por ejemplo los valores de selenio de la carne de conejo encontrados en la literatura varían entre 9 µg/100g (Díaz-Alarcon et al., 1996) y 22 µg/100g (Wiesner et al., 1978). Así pues, el alto contenido en potasio y bajo contenido en sodio de la carne de conejo podría hacer que esta carne fuera especialmente recomendable en las dietas contra la hipertensión.

La carne es una buena fuente de vitaminas del grupo B. Según Combes (2004), 100 g de carne fresca de conejo contienen el 8% de las necesidades diarias de riboflavina (B2), 12% de ácido pantoténico (B5), 21% de vitamina pyridoxina (B6), 77% de niacina (B3) y cantidades superiores a las necesarias de vitamina B12 (cobalamina). El contenido en tiamina (B1) en la carne fresca de conejo es de 0.05 mg/100g, pero debido a su falta de estabilidad al calor, los contenidos de esta vitamina en la carne cocinada se reducen considerablemente e incluso desaparecen. No ocurre lo mismo con la riboflavina o la niacina, generalmente más estables a los tratamientos térmicos (Lombardi-Bocia, 2005).

La carne de conejo, al igual que la de las demás especies, contiene trazas de vitamina A. Sin embargo el hígado contiene cantidades considerables de esta vitamina (Ismail et al., 1992). En el caso del conejo, el hígado se vende habitualmente junto con la canal. Por otro lado un complemento de vitamina E en la dieta de los animales 200 mg/ kg, para prevenir la oxidación de la carne, permite incrementar al menos un 50% el contenido de esta vitamina en la carne de conejo (Castellini et al., 2000). Además el contenido de vitamina E en la carne de conejo no se ve alterado con el tratamiento térmico (Dal Bosco et al., 2001).

1.2.3. CALIDAD ORGANOLÉPTICA

Las principales características de la calidad organoléptica de la carne son: el color, la jugosidad, la ternura y el flavor.

1.2.3.1. Color

El color es la primera característica sensorial apreciada por el consumidor. El pigmento responsable del color de la carne es la mioglobina. La coloración de la carne depende de

la cantidad de pigmento, el estado de oxido-reducción del mismo y el estado físico de la carne. La cantidad de mioglobina determina la intensidad del color. La cantidad de mioglobina depende de varios factores, como por ejemplo la especie o la edad, aumentando el contenido del pigmento con la edad o el tipo de músculo analizado. La tabla 4 muestra como varía el color de la carne de conejo en función del tipo de músculo.

Tabla 4. Parámetros de color medidos sobre la superficie de distintos músculos de la canal de conejo. Luminosidad (L*) e índice de rojo (a*).

	L*	a*
<i>Longissimus</i> (4ª vértebra)	58.0	2.70
<i>Biceps femoris</i>	53.1	4.05
<i>Gluteus</i>	55.7	4.93
<i>Trapezius</i>	50.2	12.0

Adaptado de Hernández et al. (1997).

La carne de conejo se comercializa como canales enteras, aunque actualmente se está desarrollando un mercado de canales troceadas. En ambos casos el color representa un importante factor de calidad. En otras especies como vacuno, ovino y porcino, el color de la carne es medido sobre la superficie de los cortes, pero en el conejo la medida del color directamente sobre la canal parece un mejor criterio de calidad, ya que las canales de conejo se venden principalmente enteras.

La carne de conejo presenta una coloración pálida con un bajo índice de rojo. Dentro de los músculos más pálidos se encuentra el *Longissimus*, mientras que el *Trapezius*, músculo cuantitativamente poco importante (0.6% de la canal), es el más oscuro y coloreado; los músculos de la pierna, como el *Biceps femoris*, presentan valores intermedios (Pla et al., 1995; Hernández et al. 1997).

El estado de oxidación del pigmento determina la tonalidad y el estado de frescura de la carne. La oxidación de la mioglobina y la oximioglobina produce metamioglobina, que da lugar a coloraciones pardas propias de carne en un estado defectuoso de conservación. La forma reducida ofrece dos posibilidades: mioglobina, de color rojo

púrpura, y la oximioglobina, donde el oxígeno está unido a la molécula, y presenta una coloración rojo claro o brillante. Esta forma es la más atractiva para el consumidor.

La luminosidad está determinada por el estado físico de la carne. Este estado depende a su vez del pH final que se alcanza tras el periodo postmortem, de la velocidad de descenso del pH y de la estructura de las proteínas. Uno de los principales problemas que tiene la industria cárnica, y sobre todo la dedicada a la carne de cerdo, es la elevada incidencia de las denominadas carnes PSE (pale, soft, exudative) pálidas, blandas y exudativas. Valores elevados de luminosidad (L^*) son indicativos de carnes PSE (Brewer et al. 2001). No obstante, aunque la carne de conejo tiene una luminosidad elevada ($L^* > 50$, Pla et al., 1995), no presenta problemas de PSE, por lo que puede considerarse una carne blanca pero no exudativa (Hulot y Ohuayoun, 1999).

En ocasiones, aparecen en el cerdo y sobre todo en vacuno, las denominadas carnes DFD (dark, firm, dry) oscuras, firmes y secas. En este caso, el descenso del pH es muy poco marcado debido a una baja concentración de glucógeno muscular, habitualmente como consecuencia de la fatiga de los animales. Son carnes con una superficie de corte muy seca (dado que el agua está más fuertemente unida a las proteínas) es decir, con una capacidad de retención de agua alta. Además son carnes más firmes y más oscuras ya que absorben una mayor cantidad de luz. Las carnes DFD son más susceptibles a la alteración de origen microbiano debido a su pH más elevado. Este defecto es raramente detectado en carne de conejo; de hecho, Tatiñá et al. (2000) no encontraron la presencia de carnes DFD en 439.094 canales examinadas. No obstante, recientemente se han detectado carnes DFD en conejo (Rodríguez-Calleja et al., 2005), con un pH a las 24 horas de 6.7. Estas canales presentaron un desarrollo de olores pútridos y un mayor crecimiento microbiano que las canales normales. La incidencia de carnes DFD puede limitarse con buenas prácticas de manejo durante el transporte y sacrificio de los animales que permitan que se mantengan las reservas de glucógeno muscular.

1.2.3.2. Capacidad de retención de agua y jugosidad

La jugosidad tiene un papel importante en la calidad de la carne. La jugosidad de la carne cocinada depende de dos factores: su contenido acuoso o capacidad de retención de agua y los lípidos intramusculares. La primera sensación de jugosidad se debe al

contenido acuoso pero después es la grasa intramuscular la que produce una sensación más intensa y mantenida de la jugosidad. Hernández et al. (2000) encontraron en carne en conejo una correlación positiva de 0.24 entre jugosidad y grasa intramuscular.

El cocinado también influye en la jugosidad de la carne. En carne de conejo se ha observado una leve correlación negativa (-0.21) entre jugosidad y pérdidas por cocinado (Hernández et al., 2000). En general, los procedimientos que menos pérdidas de jugo y grasa producen son los que proporcionan una carne más jugosa. Por otra parte, la jugosidad también afecta a otras propiedades sensoriales como la dureza, de forma que existe una correlación negativa (-0.60) entre la jugosidad y la dureza valorada sensorialmente (Hernández et al., 2000), así como una correlación positiva (0.65) entre ternura y jugosidad (Gondret et al., 1998).

La capacidad de retención de agua influye tanto en el aspecto de la carne fresca como en su comportamiento durante el cocinado y en la primera sensación de jugosidad que se produce durante la masticación. Las pérdidas de agua están relacionadas con la caída del pH producida durante el periodo post mortem; cuanto mayor y más rápida es esta caída, mayor es la pérdida de agua (Lawrie, 1998). Una de las ventajas que presenta el conejo con respecto a otros productos ganaderos es que no se han observado problemas asociados a la caída del pH durante el oreo, no detectándose problemas de músculo pálido, blando y exudativo tan frecuentes en porcino (Hulot y Ohuayoun, 1999) como ya se ha comentado anteriormente.

La refrigeración de las canales influye sobre las pérdidas de agua de las mismas. Durante el proceso de refrigeración, las canales pierden agua por goteo y evaporación superficial, ya que la temperatura de la superficie de la canal es inicialmente más alta que la de la cámara frigorífica. La canal del conejo es ligera y está desprovista de una cobertura adiposa aislante. Incluso cuando los parámetros del enfriamiento son moderados (aire a +5°C y velocidad de 0.3 m/s) la temperatura en el centro de la carne baja a 7°C en menos de dos horas (Ouhayoun y Delmas, 1988). Estas pérdidas oscilan alrededor del 2-3% del peso de la canal caliente. Pueden variar en función de las propiedades del aire (temperatura, velocidad e hidrometría) y de las características de las canales (conformación y estado de engrasamiento). En comparación con otros tipos

de carne como la de cerdo o ternera, por ejemplo, las pérdidas relativas de agua en el conejo son menores.

1.2.3.3. Terneza

Las propiedades de textura de la carne son las características organolépticas más apreciada por el consumidor (Miller et al., 2001). La longitud del sarcómero, la cantidad y solubilidad del tejido conectivo y la proteólisis de las proteínas miofibrilares y proteínas asociadas explican la mayoría de la variación en la terneza de la carne tras el almacenamiento post mortem (Koochmaraie y Geesink, 2006). Sin embargo, la contribución relativa de cada uno de estos factores determinantes de la terneza depende del músculo considerado. Así pues, por ejemplo, mientras la longitud del sarcómero es el mayor determinante de la terneza del músculo *psoas major*, la proteólisis es la mayor determinante de la terneza del *Longissimus dorsi* y el tejido conectivo es el determinante de la terneza en músculos como el *Semimembranosus* y el *Biceps femoris* (Koochmaraie et al., 2002). También hay otros factores que influyen indirectamente en la textura de la carne como la grasa intramuscular, el pH y la capacidad de retención de agua. Además, el cocinado también va a ejercer una gran influencia sobre el desarrollo de la textura de la carne.

1.2.3.3.1. Longitud de los sarcómeros

El grado de interacción entre la actina y la miosina, principales proteínas miofibrilares del músculo, produce diferencia en la longitud de los sarcómeros, unidad estructural de la fibra muscular. Esto contribuye a variaciones en la dureza de la carne. Cuanto mayor sea el grado de interacción mayor será la dureza (Lawrie, 1998).

In vivo, el músculo es el responsable del movimiento, lo que se consigue mediante la contracción muscular. Esta contracción muscular es posible por el deslizamiento recíproco de los miofilamentos de actina y miosina. La cabeza o parte globular de la miosina se une a la actina, formándose un complejo actina-miosina, se desliza el miofilamento de actina hacia el interior del miofilamento de miosina produciendo un acortamiento del sarcómero. La unión del ATP a la miosina produce la rotura del complejo actina-miosina y la relajación muscular. Con la muerte del animal cesa el

aporte energético, y el complejo actina-miosina permanece unido reduciéndose la longitud del sarcómero. El grado de acortamiento de los sarcómeros es uno de los factores que afecta a la terneza inicial de la carne aunque puede no tener una gran influencia en los procesos posteriores de maduración (Wheeler y Koohmaraie, 1999). Se ha observado que la longitud del sarcómero se correlaciona con fuerza de corte en carne de corte en carne de vacuno (Lepetit et al., 2000) y de cordero (Wheeler y Koohmaraie, 1994), aunque en la carne de conejo parece tener poca influencia (Walker et al., 1995).

1.2.3.3.2. Degradación miofibrilar

Tras la muerte del animal, una vez instaurado el rigor mortis, la calidad de la carne es muy baja. En este momento se ha producido un incremento de la dureza como consecuencia de la formación del complejo actina-miosina y una disminución sustancial de la capacidad de retención de agua. Posteriormente, en la maduración se producen una serie de fenómenos que influyen positivamente en la calidad de la carne. Se produce un ablandamiento progresivo de la carne, se incrementa la capacidad de retención de agua y aumentan los precursores del aroma y sabor de la carne.

Los cambios que se producen durante la maduración de la carne son consecuencia de la proteólisis que afecta a las estructuras miofibrilares, se degradan diversas proteínas que mantienen estas estructuras, aunque la actina y la miosina permanecen intactas. Se degradan proteínas miofibrilares y del citoesqueleto, entre las que se incluyen la troponina I, troponina-T, vinculina, metavinculina, distrofina, nebulina y titina (Ver Robson et al., 1997 y Taylor et al., 1995, para una revisión). Se produce una degradación de la estructura del sarcómero en la unión entre la línea Z las bandas I, así como un debilitamiento de las miofibrillas a nivel de la línea N₂ que está compuesta principalmente por nebulina (Ouali, 1990). Existe una degradación de la desmina, que es el constituyente principal de los filamentos intermedios, su desaparición determina un debilitamiento de la unión de las fibras a nivel de la línea Z, apareciendo como un indicador adecuado de la maduración (Koohmaraie y Geesink, 2006).

En la carne de conejo Gil et al. (2006) observaron que los porcentajes de las principales proteínas miofibrilares contráctiles, como son la miosina, actina y α -actinina no se ven afectadas tras 7 días post mortem en refrigeración (4°C). También observaron la

desaparición de una banda con un peso molecular mayor que el de la cadena pesada de la miosina, así como la aparición de una banda de 30kDa atribuida a la degradación de la troponina T, estos resultados están de acuerdo con los observados por otros autores (Ouali et al. 1983; Prates et al. 2001) durante la maduración de la carne de conejo.

Las causas para el ablandamiento de la carne en la maduración hay que buscarlas esencialmente en la actividad de proteasas endógenas del músculo, entre las que destacan, las calpaínas, catepsinas y el proteasoma. Hay diversas proteasas que podrían intervenir en dicho ablandamiento. Un gran número de estudios han mostrado que el sistema proteolítico de las calpaínas juega un papel central en la proteólisis postmortem y la tenderización. En el músculo esquelético el sistema calpaínico consiste en al menos tres proteasas, μ -calpaína, m-calpaína y calpaína 3, y un inhibidor de μ -calpaína y m-calpaína, calpastatina. La mayor parte de los autores están de acuerdo en que la μ -calpaína y su inhibidor la calpastatina son los principales responsables de dicho ablandamiento (Koohmaraie y Geesink, 2006). Hay una elevada correlación entre el nivel de calpastatina y la dureza de la carne. Por ejemplo, en vacuno podemos observar una correlación entre el nivel de calpastatina a 1 día post mortem y la fuerza de corte de la carne a 14 días post mortem de 0.75 (Geesink et al. 2005). Recientemente, también se ha discutido el papel de la calpaína 3 en la tenderización de la carne y aunque algunos autores (Ilian et al., 2001; 2004a; 2004b) han sugerido que podría tener un papel en la tenderización de la carne, otros (Geesink et al., 2005; Koohmaraie y Geesink, 2006) han puesto de manifiesto que la calpaína 3 no está implicada en la proteólisis post mortem. Por otra parte, algunos autores han puesto de manifiesto que el complejo multicatalítico proteasoma, también podría contribuir al proceso de tenderización (para una revisión ver Ouali et al. 2006).

Las catepsinas se encuentran en los lisosomas de todas las células excepto en los eritrocitos. Existen más de 60 enzimas diferentes, aunque en las células musculares sólo se han encontrado 7: A, B, C, D, H y L y la carbopeptidasa B o catepsina B₂. Otras catepsinas que se han encontrado en el tejido muscular son las S, F y K. Las catepsinas A, C y B₂ son exoproteasas mientras que las catepsinas B, D, H, L, S, F y K son endoproteasas (Sentandreu et al. 2002). Las catepsinas B, H, L, S, F y K pertenecen a la familia de las cisteín-proteinasas mientras que las catepsinas D y E son aspartico-

proteinasas. La actividad de las catepsinas está controlada por sus inhibidores, las cistatinas.

O'Halloran et al. (1997) han sugerido que el aumento de la terneza encontrado en músculos de glicolisis alta se debe a una actividad de las catepsinas B y B+L más alta en estos músculos respecto a músculos de glicolisis baja. Además parece que estas enzimas juegan un papel importante en los procesos de curado. Numerosos estudios han demostrado la intensa actividad proteolítica de las catepsinas durante todo el proceso de elaboración del jamón curado (Sárraga et al., 1993; Parreño et al., 1994; Todrá et al., 1997; García-Garrido et al., 2000). El exceso de proteolisis de los jamones de Parma se ha asociado con una actividad alta de la actividad de la catepsina B, de manera que la medida de esta enzima provee una medida de la calidad de estos jamones. (Parolari et al., 1994).

1.2.3.3.3. Tejido conectivo

La textura de la carne también está relacionada con la presencia de tejido conectivo. El tejido conectivo que rodea a cada músculo se prolonga hacia su interior en forma más delgada dividiéndolo en haces o fascículos. Estos septos de tejido conectivo se llaman perimisio. La textura de la carne está influenciada por el tamaño de los haces de fibras en los que se haya dividido el músculo por el perimisio (Lawrie, 1998). El tejido conectivo se encuentra compuesto por dos proteínas principales, el colágeno y la elastina. La elastina corresponde a la fracción más elástica del tejido conectivo, es poco abundante y suele encontrarse prioritariamente en músculos que presentan mucha acividad. El colágeno es la proteína más abundante en el cuerpo de los mamíferos, constituye el 25% del total de la proteína corporal y el 95% de los elementos fibrosos del tejido conectivo (Pearson y Young, 1989).

El colágeno se encuentra compuesto por fibrillas conformadas por moléculas de tropocolágeno. Estas moléculas a su vez están formadas por tres cadenas de polipéptidos formando una triple hélice (Belizt y Grosh, 1985). Es una proteína rica en glicina, prolina, hidroxiprolina e hidroxilisina. La hidroxiprolina es un aminoácido muy poco frecuente en las proteínas, por lo que su cuantificación se usa habitualmente para la determinación indirecta del colágeno en carne (Bonnet y Kopp, 1984).

La dureza aportada por el colágeno depende tanto de la cantidad de colágeno como de su grado de entrecruzamiento (ver Bailey y Light, 1989, para una revisión). Con la edad, se da un aumento de los enlaces de tipo covalente entre las fibras de colágeno. Estos enlaces covalentes son reducibles en los animales jóvenes pero van perdiendo esta propiedad con la edad. Estos entrecruzamientos aumentan la estabilidad y provocan una disminución de la solubilidad del colágeno (Sims y Bailey, 1981). La carne de conejo destaca por el elevado porcentaje de solubilidad que presenta el colágeno en comparación con otras especies (Combes et al., 2003). Corino et al. (2003) pusieron de manifiesto el efecto de la edad en la cantidad de colágeno y grado de entrecruzamiento en carne de conejo, correspondiéndoles a los conejos de mayor edad mayores valores de estas variables.

1.2.3.3.4. Otros factores que influyen en la ternera

Además de factores intrínsecos al animal como la especie, la edad y el tipo de músculo, hay, como se ha comentado con anterioridad, otros factores que influyen indirectamente en la textura de la carne que son la grasa intramuscular y la capacidad de retención de agua. Los procesos tecnológicos, como el enfriamiento de las canales, pueden tener una gran influencia en la ternera de la carne. Los enfriamientos rápidos de las canales pueden provocar fenómenos de “cold shortening” produciendo una gran dureza en la carne (Lawrie, 1998). No obstante, en la carne de conejo no se han observado problemas de “cold shortening” (Jolley et al., 1983; Ouhayoun et al., 1990).

El cocinado también tiene una gran influencia sobre la textura de la carne. Combes et al. (2003) estudiaron los cambios en el estrés máximo y la energía total, medidos con el ensayo Warner-Bratzler, que se producen con el aumento de la temperatura de cocinado en lomo de conejo. Inicialmente hubo un aumento de la dureza entre la carne cruda y los 50°C, como consecuencia de los cambios térmicos en el perimio. Posteriormente hubo un descenso de la dureza entre los 50°C y los 65°C debido a la solubilización del colágeno. Tras este descenso se produjo un aumento de la dureza entre los 65-80°C, como consecuencia de la desnaturalización térmica de las proteínas e interacción entre los componentes miofibrilares y conectivos. Estos cambios en la dureza están relacionados con el efecto de la temperatura en el tejido conjuntivo y en las proteínas miofibrilares.

1.2.3.4. Flavor

El sabor y el aroma de la carne son características organolépticas extremadamente complejas e íntimamente relacionadas. El término flavor se utiliza para designar conjuntamente la percepción del aroma y del sabor. En general, los precursores del sabor de la carne, independientemente de la especie, son compuestos no volátiles, solubles en agua y con una masa molecular baja: aa, péptidos, algunos ácidos orgánicos, azúcares, nucleótidos, etc. Sin embargo, el aroma específico de cada especie se atribuye fundamentalmente a compuestos volátiles de origen lipídico (Shahidi, 2002).

El aroma de la carne que surge en el procesado térmico de la misma, deriva de fenómenos de condensación y degradación de precursores y de su interacción a través de las reacciones de Maillard y la oxidación lipídica. Esto da lugar a un gran número de compuestos volátiles que determinan el aroma de la carne (Shahidi, 2002). Por otro lado, las principales alteraciones del flavor se producen como consecuencia de la autooxidación de los lípidos, particularmente de los fosfolípidos, lo que puede conducir a la aparición de aromas indeseables y rancidez. La oxidación lipídica también es la responsable de la aparición de alteraciones del flavor que aparecen en las carnes cocinadas y recalentadas y que se conoce con el nombre de warmed over flavor (Tims y Watts, 1958).

1.3. FACTORES QUE MODIFICAN LA CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJO

1.3.1. EFECTO DE LA SELECCIÓN GENÉTICA SOBRE LA CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJO

1.3.1.1. Variabilidad genética entre razas

Las comparaciones entre líneas de la calidad de la carne ofrecen un doble interés. Por un lado es más sencillo encontrar diferencias en la calidad de la carne que cuando comparamos líneas de origen similar y, además, la variación genética entre líneas se puede utilizar en posteriores investigaciones para encontrar genes mayores o para crear

líneas sintéticas nuevas que contengan variación genética en rasgos en los que la variación dentro de la línea esté agotada. Se han publicado diversos estudios sobre comparaciones entre razas de conejos desde el trabajo pionero de Rouvier (1970) sobre caracteres de la canal. Varios autores han encontrado diferencias en pH último (pHu) entre líneas (Ouhayoun and Delmas, 1988; Blasco and Piles, 1990). Otros estudios han examinado el color y el contenido en grasa de la canal y han encontrado diferencias en características de color L*, a* y b* entre diferentes razas de conejos.

Se han publicado pocos estudios sobre líneas seleccionadas para diferentes características. Pla *et al.* (1996, 1998) y Gómez *et al.* (1998) han comparado líneas seleccionadas por tamaño de la camada o por velocidad de crecimiento mostrando que las líneas seleccionadas por crecimiento presentaban un valor menor de ratio carne/hueso y un porcentaje de carne en la canal menor. Sin embargo, hay que tener en cuenta que compararon las canales al mismo peso, y por tanto en un estado de madurez diferente. Comparar animales con el mismo peso comercial puede ser útil con propósitos comerciales prácticos, pero Taylor (1985) estableció que las líneas o razas deberían compararse en el mismo grado de madurez, pues de lo contrario las diferencias entre líneas pueden deberse únicamente al hecho de que se midieron en diferentes puntos de la curva de crecimiento. En el caso del conejo, que alcanza el peso al sacrificio en un estado de madurez relativamente temprano comparado con otras especies, sacrificar animales a la misma edad ofrece una buena aproximación a comparar animales con el mismo grado de madurez (Pla *et al.* 1997).

La composición del canal y las características de la carne de diferentes razas han sido comparadas sacrificando los animales a una edad fija, mostrando algunas diferencias en la composición de la canal debido a su origen genético (Lukefahr *et al.*, 1982, 1983; Ozimba and Lukefahr, 1991; Skrivanova *et al.*, 1995; Lambertini *et al.*, 1996). Las líneas de tamaño grande muestran un menor rendimiento a la canal. Las líneas de tamaño grande se usan como machos terminales ya que tienen un mejor índice de conversión (Feki *et al.*, 1996). Estas líneas originan unos costes de mantenimiento más bajos, puesto que son sacrificados más pronto con el mismo peso comercial. Esta ventaja económica se contrarresta en parte con una rebaja en el precio de los conejos por parte del matadero debido al menor rendimiento a la canal.

La terneza es una de las características más importantes de la carne. Varios estudios sobre diferentes especies han mostrado la influencia del tipo genético en la actividad de las catepsinas, aunque no hay comparaciones disponibles entre líneas de conejos que midan la actividad de estas enzimas. La textura de la carne puede también resultar afectada por la cantidad de colágeno así como por su solubilidad.

1.3.1.2. Variabilidad genética dentro de raza

Los programas de selección de carne de conejo se basan normalmente en un cruce de tres vías. Se seleccionan dos líneas por tamaño de camada para producir hembras cruzadas, y una línea de machos terminales de tamaño grande se utiliza para cruzarlos con estas hembras. Durante los últimos quince años la selección de líneas de machos terminales de elevada velocidad de crecimiento ha resultado un éxito (ver Larzul y Gondret, 2005, para una revisión). Independientemente de que la selección genética fuera dirigida a una mejora de la velocidad de crecimiento diaria o del peso del animal vivo a una edad fija, se han obtenido respuestas similares a esta selección respecto a estos dos criterios. El crecimiento post destete se ha mejorado en torno a 0.45 a 1 g/d por generación de selección, dependiendo de los experimentos (Rocheambeau *et al.*, 1989; Piles and Blasco, 2003; Larzul *et al.* 2005). Incluso aún cuando se incluía el crecimiento diario en un índice de selección combinada con características reproductivas, se ha mostrado claramente una mejora del crecimiento (Moura *et al.*, 2001; Garreau y Rocheambeau, 2003). Sin embargo, la selección dirigida a mejorar la velocidad de crecimiento puede tener efectos adversos en los caracteres de calidad de la carne.

Hay un escaso número de trabajos que estimen los parámetros genéticos de los caracteres de calidad de carne, y los errores de estimación son elevados, particularmente los de las correlaciones genéticas. Esto es debido a que es necesario un elevado número de animales para estimar los parámetros genéticos, lo que es difícil de obtener en la mayor parte de caracteres que definen la calidad de la carne. El rendimiento a la canal ha obtenido unas heredabilidades moderadas o relativamente elevadas (Lukefahr *et al.*, 1996; Su *et al.*, 1999; Larzul *et al.*, 2005) con un valor medio muy similar al que encontramos en el cerdo (Séllier, 1998). Las correlaciones genéticas estimadas entre el peso vivo a una edad fija y rendimiento a la canal son pequeñas (Lukefahr *et al.*, 1996,

Farhaly abd El-Mahdy, 1999; Su *et al.*, 1999, Larzul *et al.*, 2005). Las heredabilidad para la proporción de grasa perineal en la canal es relativamente alta, pero este valor ha sido estimado en tan sólo un experimento (Larzul *et al.*, 2005). Los mismos autores a su vez informaron sobre una posible correlación genética positiva entre el peso a una edad fija y el porcentaje de grasa en la canal. Se ha encontrado una elevada correlación entre el peso corporal a una edad fija y la proporción entre músculo y hueso, situada en el rango de 0.70 – 0.85 (Lukefahr *et al.*, 1996; Farghaly y El-Mahdy, 1999). Un estudio reciente (Larzul *et al.*, 2005) ha proporcionado también estimaciones de parámetros genéticos para las características de calidad de la carne de conejo. Encontraron que el pHu del lomo tiene una heredabilidad baja y los autores también reseñaron la nula correlación entre el peso a los 63 días de edad y el pH. Las heredabilidades de los caracteres de color de la canal fueron cero, mientras que la correlación genética entre velocidad de crecimiento y el contenido en mioglobina del músculo fue ligeramente negativa (entre -0.09 y -0.25; ver Ouhayoun and Dalle-Zotte, 1993, para una revisión). No hay evidencia de genes mayores influyendo en las características del canal y carne del conejo; por ejemplo, no se ha observado ninguna anomalía relacionada con el pH, como el síndrome de músculo pálido y exudativo.

1.3.1.3. Consecuencias de la selección por velocidad de crecimiento en la calidad de la carne

Se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre la composición del canal y las características de la carne comparando diferentes razas (e.g. Skrivanova *et al.*, 1995; Lambertini *et al.*, 1996) o líneas seleccionadas persiguiendo objetivos diferentes (Deltoro y López, 1986; 1987). Las diferencias observadas en estos estudios eran debidas más al origen genético de los animales que a solamente al hecho de tener una velocidad de crecimiento diferente.

Se han llevado a cabo experimentos de selección dentro de línea, comparando la respuesta a la selección bien con una población control crioconservada, o bien con otra línea seleccionada divergentemente. En general, los animales seleccionados por crecimiento y los controles mostraron un rendimiento a la canal similar a una misma edad. Se ha encontrado unos porcentajes de grasa mayores, similares o menores en las canales de los animales seleccionados por crecimiento comparados con los control.

Según la generación en la que se ha llevado a cabo la selección se ha evidenciado una proporción músculo/hueso mayor o similar en los conejos seleccionados por crecimiento comparados con el control. Algunos experimentos encontraron un pH final más alto en el músculo *longissimus* de animales seleccionados por crecimiento (Hernández et al., 2004), aunque dicho aumento no se ha podido confirmar en posteriores generaciones de animales seleccionados (Ramírez et al., 2004). La falta de variación en el pH final en la respuesta a la selección está corroborada por la ausencia de cambios en el equilibrio de la energía muscular a la hora de ser sacrificados, evaluada como la relación de actividades de enzimas glicolíticos respecto a los oxidativos. La frecuencia de los diferentes tipos de fibra en el músculo del muslo no varió por la selección. (Larzul et al., 2005). Respecto al color de la carne, diferentes experimentos mostraron diversos resultados relativos a valores de a* (rojez) y b* (amarillez) en respuesta a la selección (Gondret et al., 2002; Hernández et al., 2004; Ramírez et al., 2004), sin que la luminosidad se viera afectada. La capacidad de retención de agua de la carne cruda fue ligeramente menor en los conejos seleccionados por crecimiento comparada con el grupo control; este cambio no es lo suficientemente relevante como para generar variaciones en las pérdidas producidas al cocinarlos (Piles et al., 2000). Los paneles de pruebas no detectaron ninguna diferencia en cuanto a la calidad de la terneza en la carne entre los conejos seleccionados por crecimiento y el grupo control (Hernández et al. 2005). Además, la selección por crecimiento no afectó las actividades de las enzimas proteolíticas y sus inhibidores (Gil et al., 2006). La selección por índice de crecimiento también parece afectar a la composición de la grasa muscular en el momento del sacrificio; sin embargo, los cambios de los índices relacionados con la salud humana fueron muy pequeños (Ramírez et al., 2005). No se ha encontrado ninguna diferencia en cuanto a las actividades de los enzimas lipolíticos entre los conejos seleccionados por crecimiento y los control (Ariño et al., 2003).

La carne de conejo es a menudo valorada negativamente por parte de la población joven a causa de su acentuado sabor a caza (Dalle-Zotte, 2002) que puede ser debido en parte a su composición en ácidos grasos. Se puede considerar que la selección por crecimiento tiene un efecto negativo en el sabor de la carne, que pasa a un sabor de anís aromático menos pronunciado y más próximo al sabor del hígado atribuido a la carne de conejos de crecimiento acelerado comparados con control (Hernández et al., 2005).

1.3.2. EFECTO DE LA DIETA EN LA CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJO

1.3.2.1. Efecto de la grasa de la dieta en la calidad de la carne

El papel de la adición de grasa en el proceso del crecimiento del conejo y su composición corporal ha sido tratada por varios autores (Maertens, 1998; Fernández et al., 2000; Pla et al., 2005). El aumento del contenido en grasa de la dieta normalmente genera un mayor consumo de energía digestible, así como un mayor crecimiento y eficiencia alimentaria. Sin embargo, la calidad de la canal puede resultar perjudicada debido a una adiposidad mucho mayor (Pla y Cervera, 1997) cuando la grasa se encuentra presente en la dieta a niveles muy altos (más de un 9% de la ración). Muchos experimentos de los últimos años han tenido como tema de estudio los efectos de varias fuentes de grasa en la alimentación. La adición de grasa vegetal comparada con la grasa de origen animal a la dieta conlleva diferencias en la calidad de la carne de conejo, en especial en lo que se refiere a la composición de ácidos grasos de los tejidos y al sabor de la carne (Hernández et al., 2000; Oliver et al., 1997). Por ejemplo, los paneles de pruebas sensoriales atribuyen un mayor gusto a “hígado” a los animales alimentados con una dieta de origen animal, mientras que la carne de animales alimentados con una dieta de origen vegetal parecen tener un gusto más “anisado” o “aroma a hierba”. Sin embargo, no se han hallado diferencias entre grupos en los parámetros de textura evaluados.

Los posibles beneficios para la salud de los ácidos grasos esenciales poliinsaturados 3 (PUFA) sobre la nutrición en los humanos (Connor, 2000) han estimulado el interés en aumentar el nivel de n-3 PUFA de la carne y productos cárnicos derivados. Se han introducido diferentes fuentes de aceites vegetales en la dieta del conejo con objeto de aumentar el nivel de insaturación de los lípidos (ver Dalle-Zotte, 2002 para una revisión). Recientemente, se ha llevado a cabo un intento de mejorar específicamente el contenido de ácidos grasos n-3 en la carne de conejo por parte de Dal Bosco et al. (2004). Estos autores estudiaron el efecto sinérgico del ácido alfa-linoléico de la dieta, como el principal precursor de la familia de ácidos grasos n-3, y de la vitamina E como antioxidante, sobre la estabilidad de la oxidación y las características nutricionales y de sabor de la carne de conejo fresca y almacenada. Este estudio confirmó la capacidad del

conejo de sintetizar la cadena larga de los PUFA procedentes de su precursor dietético, lo que originó un aumento del contenido de PUFA n-3 en la carne de los conejos que consumieron la dieta n-3, todo ello sin provocar ninguna alteración en la estabilidad de oxidación y en la calidad sensorial de la carne.

El ácido linoléico conjugado (CLA) ha recibido mucha atención como suplemento de la alimentación del conejo capaz de modificar favorablemente la composición corporal (Corino *et al.*, 2002; 2003), debido a su potencial para incrementar el depósito de tejido magro y al mismo tiempo disminuir el depósito de grasa en varias especies (Sunshea *et al.*, 2005). El proceso de crecimiento del conejo y las características del canal cuando el conejo alcanza el peso medio para ser sacrificado (2.5 kg, 76 d) no resultaron afectadas por las dietas de pienso convencionales que contenían un suplemento de preparado de CLA de 0, 0.25, o 0.5%. Finalmente, los suplementos de CLA pueden tener efectos positivos sobre la textura y ternura de la carne.

1.3.2.2. Antioxidantes y aditivos

La oxidación de los lípidos es un factor principal no microbiano responsable del deterioro de la calidad de la carne. Conlleva decoloración, gran pérdida de jugosidad y la carne deviene inodora e insípida (Monahan 2000). La manipulación dietética de la composición del tejido lípido para producir carne de alto contenido en PUFA podría reducir la estabilidad de oxidación de los productos cárnicos y tener un efecto negativo sobre la calidad de la carne. Por este motivo, se ha acrecentado el interés en los últimos años por el uso de antioxidantes en la fórmula del conejo, como la vitamina E (término genérico que describe a varios componentes que muestran la actividad biológica del α -tocoferol). En los últimos años, se han llevado a cabo diferentes estudios sobre los conejos para estudiar los efectos de una alimentación con suplemento extra de vitamina E en la deposición de α -tocoferol en los tejidos, en las características de la calidad de la carne y en la estabilidad de oxidación y la duración de almacenamiento de la carne. Varios autores (Castellini *et al.*, 1999; López-Bote *et al.*, 1997) han mostrado que el depósito de α -tocoferol en el músculo del conejo es muy eficaz y guarda una fuerte relación con el nivel de suplementos utilizados en la dieta. Se ha encontrado que el suplemento dietético de acetato α -tocoferol estabiliza el color de la carne cruda (Corino

et al., 1999), incluso después de ser almacenada en refrigeradores (Dalle Zotte et al., 2000). La vitamina E también ha resultado eficaz para la reducción de la oxidación de lípidos durante el proceso de refrigeración y congelación en el almacenamiento de la carne (Castellini et al., 1999; Lo Fiego et al., 2004). Además, el suplemento de vitamina E aumenta la estabilidad de oxidación de la carne de conejo cocinada (Castellini et al., 1999), sean cual sean los métodos de cocinado estudiados. (Dal Bosco et al., 2001). Además, un nivel alto de α -tocoferol mejora algunos rasgos físicos de la carne, aumentando la capacidad de retención de agua (Castellini et al., 1998).

La mayor parte de las investigaciones llevadas a cabo en los últimos años sobre aditivos se han centrado en la incorporación de compuestos bioactivos en la carne para beneficio de la salud en los humanos. En particular, la carne de conejo podría convertirse en una buena manera de proporcionar dichos compuestos bioactivos a los consumidores humanos, ya que la manipulación de la dieta del conejo resulta muy eficaz para aumentar los niveles de ω 3 PUFA, CLA o la vitamina E. Además, tanto el selenio como el hierro responden a los suplementos dietéticos de los conejos. (Lynch y Kerry, 2000).

1.3.3. INFLUENCIA DE LOS TIPOS DE CRIANZA EN LA CALIDAD DE LA CARNE DE CONEJO

Se están desarrollando nichos de mercado para conejos que requieren ser producidos con cualidades específicas (edad de sacrificio, tipo de alojamiento, densidad de cría, alimentos orgánicos...). Los cambios de sistemas de confinamiento en jaulas incluyendo grandes jaulas para cría dentro de naves o sistemas totalmente al aire libre se han probado para la cría de conejos (ver Combes y Lebas, 2003 para una revisión). Son muchos los efectos que interactúan en los sistemas de crianza alternativos comparados con los convencionales, tales como el peso a la edad de sacrificio, la genética, la nutrición, el ejercicio físico, la densidad de cría, el tipo de suelo, la temperatura medioambiental o el estado de salud. Por lo tanto, es difícil comparar la calidad del canal y la calidad de la carne entre un sistema y otro sistema, y valorar los factores precisos que subyacen bajo las variaciones observadas entre sistemas alternativos y el alojamiento convencional.

1.3.3.1. Calidad de la canal y de la carne en sistemas de alojamiento en grandes jaulas en naves

La reducción del índice de conversión en conejos criados en grandes jaulas afecta al peso de sacrificio a la misma edad y asimismo a la calidad del canal y las características de la carne. Generalmente, el rendimiento a la canal no se ve afectado por los sistemas de alojamiento (Maertens and Van Oeckel, 2001; Combes et al., 2003c; Jehl et al., 2003). Las canales de conejos criados en jaulas de gran tamaño encaves tuvieron una mayor proporción de partes traseras y muslo comparados con los animales criados en jaulas estándar (Dal Bosco et al., 2000; Combes et al., 2003c; Jehl et al., 2003; Metzger et al., 2003). También aumentó la proporción de las partes traseras en la canal induciendo a los conejos a ejercitar el salto en jaulas gigantes equipadas con trampolines, y comparando estos con otros animales confinados de una misma edad y peso corporal similar (Combes et al., 2004). Además, el peso del hueso y la rigidez mostraba un aumento en los conejos criados en jaulas grandes comparados con los de jaulas estándar (Jehl et al., 2003). Sin embargo, los autores reseñaron una proporción de carne-hueso o inferior (Jehl et al., 2003) o igual (Dal Bosco et al., 2002; Combes et al., 2003c) en las canales de los animales criados en grandes jaulas comparados con los criados en jaulas convencionales. La textura de la carne cruda no reflejaba alteraciones debidas a los sistemas de alojamiento, pero las pérdidas al ser cocinada tendían a ser mayores en conejos criados en grandes jaulas (Combes et al., 2003c). Las variaciones observadas en el pH final y el color de la carne entre los sistemas de alojamiento no mostraron un patrón coherente.

Otro efecto relevante del alojamiento en grandes jaulas fue la reducción de los depósitos de grasa en las canales comparado con el de conejos criados en jaulas convencionales (Dal Bosco, et al., 2002; Combes et al., 2003c; Jehl et al., 2003; Metzger et al., 2003), aunque Maertens y Van Oeckel (2001) observaron un engrasamiento similar entre los diferentes sistemas de alojamiento. Los lípidos del músculo y los contenidos en grasa de la carne seguían normalmente la misma pauta que la del engrasamiento de la canal (Lambertini et al., 2001; Metzger et al., 2003). Es más, estos sistemas de cría en grandes jaulas eran el origen de claras modificaciones en el perfil del ácidos grasos, produciendo una disminución de la proporción de ácidos grasos monoinsaturados y una mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados en el músculo longissimus (Dal Bosco et

al., 2002) en animales criados en grandes jaulas comparados con los animales criados en jaulas convencionales.

1.3.3.2. Calidad de la canal y de la carne en sistemas de producción al aire libre

La producción de conejos al aire libre se define como un sistema que permite la salida al exterior durante todo o una parte del período de crecimiento, incluya o no el contacto con pastos y tierra. Se han comparado las jaulas grandes dentro de naves con acceso a parcelas al aire libre con el sistema de alojamiento convencional totalmente dentro de naves (Van der Horst *et al.*, 1999). El resultado principal fue la reducción de la velocidad de crecimiento de los conejos criados totalmente o solo acabados al aire libre comparados con los conejos criados en jaulas dentro de naves (Margarit *et al.*, 1999; Van der Horst *et al.*, 1999; Luzi *et al.*, 2000; McNitt *et al.*, 2003). Esto condujo a un empeoramiento del índice de conversión (Van der Horst, *et al.*, 1999; Fijal *et al.*, 2000). El rendimiento a la canal fue también menor (Van der Horst *et al.*, 1999) o no (Luzi *et al.*, 2000) en los conejos al aire libre comparado con el de los animales convencionales. Sin embargo, la proporción de carne-hueso parecía no resultar afectada por el sistema de alojamiento al aire libre (Margarit *et al.*, 1999). La proporción de partes traseras en las canales refrigeradas era mayor (Luzi *et al.*, 2000), la proporción de grasa era menor, y el contenido de grasa en el músculo disminuía en los conejos criados total o parcialmente al aire libre comparados con los animales criados convencionalmente en interior (Margarit *et al.*, 1999; Van der Horst *et al.*, 1999; Cavani *et al.*, 2000). A la inversa, se observó un mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados en los conejos criados al aire libre con acceso a pasto fresco, comparados con los animales criados convencionalmente (Cavani *et al.*, 2004). El pH final era menor en la carne de los conejos criados en el exterior comparado con el de los animales enjaulados en espacios cerrados (Cavani *et al.*, 2000). Sin embargo, esto no generó diferencias en la capacidad de retención de agua de la carne y la pérdida en la cocción entre los diferentes sistemas de producción (Cavani *et al.*, 2000). Finalmente, los sistemas de alojamiento en corrales al aire libre no afectaron la calidad sensorial de la carne comparados con los sistemas de alojamiento en jaulas (Margarit *et al.*, 1999; Cavani *et al.*, 2004).

1.3.3.3. Calidad de la canal y de la carne en la producción orgánica

Un número reducido de granjas produce conejos orgánicos. Los patrones para la producción de conejos orgánicos están en conformidad con los de la Unión Europea para ganadería orgánica y productos derivados de la misma (EC 1904/1999). La edad de sacrificio se fija en un mínimo de 100 días para los conejos orgánicos. Obviamente, las dietas tienen que respetar la definición de orgánico, especialmente en lo relativo a la ausencia de suplementos anticoccidiosis, y del origen de granja para la mayor parte de los alimentos. El forraje fresco, seco o liofilizado debe formar parte de un mínimo del 60% de la dieta de materia seca ingerida. Los animales en proceso de cría habitualmente tienen acceso al pasto, sin embargo se acepta el suelo de cemento cubierto de paja o virutas de madera. Solamente está prohibido el uso de suelo metálico de alambre. Los animales deben tener acceso al aire libre pero se permite el alojamiento parcial en interiores. Aunque no es obligatorio, se pone generalmente énfasis en las razas tradicionales adaptadas a las condiciones del lugar.

Tanto los campos vallados (200m²-400m², Bradley and Hague, 1996) como las jaulas gigantes móviles sin base (2,8m², Lebas et al., 2002; Combes et al., 2003a) han sido comparadas con las jaulas convencionales, pero hay pocos estudios sobre las características de calidad de la carne y de la canal. Como ocurre en los sistemas de alojamiento en jaulas grandes, la producción orgánica genera una reducción en velocidad de crecimiento (Salcedo-Bacca, et al., 2004), probablemente porque los piensos no están optimizados para los requisitos del crecimiento. Combes et al. otros (2003a,b) han mostrado que los conejos orgánicos tenían un mejor rendimiento de canal que el de los conejos convencionales sacrificados a un mismo peso, y estos también exhibían unas proporciones mayores de partes traseras, un menor porcentaje de grasa interescapular y un contenido en grasa muscular reducido. Además, los músculos crudos poseían una firmeza mecánica más alta cuando procedían de conejos orgánicos comparados con los animales convencionales. Las pruebas mecánicas realizadas sobre muestras cocinadas resultaban bastante más discutibles (Combes et al., 2003b). El pH final de la carne era mayor y el color de la carne era mas oscuro en la producción orgánica comparada con el sistema convencional (Combes et al., 2003a). La carne de lomo de producción orgánica se distinguía claramente de la de producción normal por medio de pruebas en un panel sensorial; obtenía una puntuación mayor en terneza

(Combes et al., 2003b), aunque la carne orgánica cruda mostraba una firmeza mecánica mayor. Otras características sensoriales (jugosidad, flavor) no resultaban modificadas por los sistemas de producción. Puesto que los conejos orgánicos tienen acceso al pasto o al forraje fresco, tienen en teoría mayores niveles de ácidos grasos poliinsaturados de la familia n-3. De acuerdo con lo anterior, Pla et al. (2006) encontraron que la carne de los conejos producidos orgánicamente era más pobre en ácidos grasos monoinsaturados y más rica en ácidos grasos poliinsaturados que la que procedía de una producción convencional.

2. OBJETIVOS

El principal objetivo es el estudio de la variabilidad genética entre tres líneas de conejo en características de calidad de la canal y de la carne. La línea R, seleccionada por velocidad de crecimiento, y la línea V y A seleccionadas por características reproductivas.

Los objetivos concretos son:

1. Comparar tres líneas de conejo en las características de la canal: rendimiento, porcentaje de partes nobles y engrasamiento, así como en características físicas de la calidad de la carne como el color, pH y capacidad de retención de agua.
2. Comparar tres líneas de conejo en la terneza de la carne, tanto a través de medidas físicas de las propiedades de textura, mediante el test Warner-Braztler y análisis de perfil de textura, como a través del análisis de enzimas proteolíticas (catepsinas y sus inhibidores) y determinación de colágeno.
3. Comparar tres líneas de conejo en las propiedades sensoriales de la carne, jugosidad, características de textura y flavor.

CAPÍTULO I

Comparison of carcass and meat characteristics of three rabbit lines selected for litter size or growth rate

Hernández, P., Ariño, B., Grimal, A., Blasco, A.

Departamento de Ciencia Animal. Universidad Politécnica de Valencia.

P.O. Box 22012. 46071 Valencia. Spain.

Publicado en: Meat Science, Vol. 73, pp. 645-650

Abstract

Rabbits from three synthetic lines were compared. Line V and A were selected for litter size at weaning and line R was selected for growth rate between weaning and slaughter time. Forty animals of each line were slaughtered at 9 week of age. Comparisons between lines were made using Bayesian statistical techniques. Line R had a higher meat/bone ratio, higher loin percentage and higher ultimate pH of M. *Longissimus lumborum* (LL) than A and V, but lower dressing out and lower hind part percentages. Some differences between lines in carcass and meat colour were found. No differences were found for percentage of released water of M. LL and for the activity of energy metabolic enzymes. At present, rabbit carcasses are not costed according to their retail cuts or meat/bone ratio, but dressing out percentage is taken into account, thus breeding companies should be concerned about lower carcass yield of lines selected by growth rate.

Keywords: Rabbit, line comparison, Bayesian statistics, meat quality.

1. Introduction

Rabbit meat represents a 1.2% of total meat produced in the EU, a figure similar to the 2.5% of lamb and goat meat (FAO Stat, 2004). About three quarters of all this meat is produced in Italy, Spain and France. Selection programs in rabbit commercial schemes are based on a three way crosses in which two lines are selected for litter size and one line is selected for growth rate (Baselga, & Blasco, 1989; Lebas, Coudert, Rochambeau, & Thébault, 1996). Although commercial lines are now often synthetic lines, lines selected for litter size are derived from medium size breeds (normally of White New Zealand and Californian origin) and lines selected for growth rate are often derived from large size breeds. Between lines meat quality comparisons have then a double interest. On one hand it is easier to find differences in meat quality than when comparing lines with similar origins, and on the other hand, genetic variation between lines can be used for further research to find major genes or to create new synthetic lines having genetic variation for traits in which within line variation is exhausted. Several studies have been published on breed comparisons, for carcass traits in rabbits since the pioneering work of Rouvier (1970) on carcass traits and Ouhayoun (1989) on meat quality traits, but few studies on lines selected for different traits have been published. Pla, Hernández & Blasco (1996), Gomez, Baselga, Rafel & Ramon (1998) and Pla, Guerrero, Guardia, Oliver & Blasco (1998) compared lines selected for litter size or growth rate, but they compared the lines at the same weight, thus at different states of maturity. To compare animals at the same commercial weight may be useful for practical commercial purposes, but Taylor (1985) established that lines or breeds should be compared at the same stage of maturity; otherwise attributed line differences may only be due to the fact that they were measured at a different points in the growth curve. Rabbit is a good experimental model for meat carcass and quality because it is possible to perform experiments more rapidly and at a lower cost than in other species. Given the short generation interval of rabbit selection programs (between six and nine months), lines selected for growth rate rapidly diverge from lines selected for litter size, thus it is interesting to evaluate these lines after a large number of generations of selection, at the same stage of maturity.

The variation in meat quality also depends on the muscle metabolic type. Several studies point out that oxidative muscles are more tasty and juicy (Valin, Touraille, Vigneron, & Ashmore, 1982). Glycolytic metabolism could be enhanced by selection for rapid growth and improved muscularity (Ashmore, Tompkins, & Doerr, 1972). In

fact, Ouhayoun and Delmas (1983) found that rabbits with a higher average daily gain presented a higher glycolytic activity that could impair meat quality. However, Hernández, Aliaga, Pla, & Blasco, (2004) found that selection for growth rate did not affect the metabolic enzymes activities in rabbit.

Recently, Blasco (2005) has proposed Bayesian statistics and Monte-Carlo Markov Chain (MCMC) as a new and powerful tool for meat quality analyses. In classical statistics, a significant difference does not provide an exact measurement of the evidence provided by the data. A P-value cannot be interpreted as a measure of significance because when repeating the experiment, the P-value changes. An advantage of Bayesian procedures is that we have an exact account of the evidence provided by the experiment. Thus, the probability of differences between lines being higher than 0 can be for example 0.94 or 0.89, and we still can consider that we have evidence enough of these differences for our purposes.

The objective of this paper is to compare carcass and meat characteristics of rabbits from lines selected for litter size or growth rate a large number of generations, using Bayesian techniques.

2. Materials and methods

2.1. Animals

Rabbits from three synthetic lines were used in the experiment. Line A has a New Zealand origin, line V is a blend of New Zealand and California origins and line R was formed by mixing commercial hybrids used as terminal sires. Line V and A were selected for litter size at weaning for 30 and 33 generations, respectively. Line R was selected for growth rate between weaning (at 4th week of age) and slaughter time (9th week of age) for 24 generations in the farm of the Univesidad Politécnica de Valencia.

Forty animals of each line were reared in collective cages (50 x 80 x 33cm) with eight rabbits per cage from weaning to slaughter at 9 weeks of age. Animals were fed *ad libitum* with a commercial diet (barley and wheat as the primary grains, wheat bran, barley straw, and alfalfa hay as the fiber source) formulated for growing rabbits (16% crude protein, 15.5% fiber, 3.4% fat). Animals were slaughtered at the abattoir on the farm, thus they did not suffer stress due to transport. Animals were electrically stunned and bled, without fasting.

2.2. Carcass characteristics

Carcasses were prepared according to the norms of the World Rabbit Science Association (WRSA) (Blasco & Ouhayoun, 1996) by removing the skin, the distal parts of the tail, fore and hind legs, urinogenital organs and the digestive tract. Hot carcasses were suspended in a ventilated area for 30 minutes, and then were chilled at 3-4°C until 24 h post-mortem. The head, liver, lungs, thymus, trachea, oesophagus, heart and kidneys, were then removed to obtain the “reference” carcass, containing only meat, fat and bone.

The following traits were recorded: LW: live weight; CCW: chilled carcass weight; RCW: reference carcass weight (carcass without head and organs); HW: head weight; LvW: liver weight; KiW: kidneys weight; LHW: thymus, trachea, oesophagus, lung and heart weight; DFaW: dissectible fat weight of the chilled carcass (inguinal, IFaW; perirenal, PFaW; and scapular SFaW).

Reference carcasses were divided into technological joints as the WRSA indicates (Blasco and Ouhayoun, 1996). Joints obtained were weighed and consisted of: FLW: fore legs; TW: thoracic cage; LoW: loin; HPW: hind part. From the hind part a hind leg (HLW) was carefully dissected to separate bone (HLBW) from the edible meat (HLMW).

The following were calculated: DoP: dressing out percentage ($100 \times \text{CCW} / \text{LW}$); the weights of the following tissues as a percentage of CCW: HP: head %; LvP: liver %; KiP: kidneys %; LHP: set of thoracic viscera %; DFaP: dissectible fat %; IFaP: inguinal fat %; PFaP: perirenal fat %; SFaP: scapular fat %; FLP: fore legs %; TP: thoracic cage %; LoP: loin %; HPP: hind part % and the M/B: meat to bone ratio of the hind leg ($\text{HLMW} / \text{HLBW}$).

Colour in the CIELAB space ($L^* a^* b^*$) of the carcasses was measured on loin surface at the 4th lumbar vertebra of the left side at 24 h post-mortem using a CR300 Minolta Chromameter.

2.3. Meat quality variables

The muscle pH was measured at 24 h post mortem in M. LL (pHu LL) at the level of the 4th lumbar vertebra of right side with a Crison MicropH 2001 (Crison instruments, Barcelona, Spain), using a combined electrode penetrating 3 mm.

Water holding capacity was measured on a sample from loin meat (7th lumbar vertebra). A sample of intact meat weighing 300 ± 5 mg was placed on a previously desiccated and weighed (0.0001 g accuracy) 7-cm disk of Whatmann No. 1 filter paper. After weighing, the paper with meat was placed between two Plexiglas plates and a load of 2.25 kg was applied for 5 min. The damp paper filter was rapidly weighed after accurately removing the compressed meat. The mean of two replicates were used in analysis. The percentage of released water (PRW) was calculated as ratio per cent of weight of released water (damp filter paper weight – dry filter paperweight) to intact meat.

Meat colour was measured at the 6th lumbar vertebra of the M. LL transversal section at 24 h post-mortem. The parameters L*, a*, b* were recorded.

2.4. Enzymatic activity

The metabolic traits of the muscles were determined by measuring aldolase (EC 4.1.2.13) and ICDH (EC 1.1.4.41) activities, these enzymes are representative of the glycolytic and oxidative pathways of the energy metabolism, respectively. A portion of the M. LL, between the 6th and the 7th lumbar vertebra was taken from the right side of the carcasses, vacuum-packed in polyethylene and aluminium multilayer bags and frozen at -20°C until required. Muscle extracts were obtained by homogenizing 2 g of muscle in 15 ml of phosphate buffer, pH 7.25, and centrifuged at 15000 rpm (27000 g) for 20 min at 5°C (Ansay, 1974). Two aliquots of 1.5 ml of the supernatant were stored at -20°C for analysis within a week. The enzymatic activity was quantified by continuous kinetics using a spectrophotometer (Model UV-1601, Shimadzu Co., Tokio, Japan) at 340 nm monitoring the oxidation rate of $\text{NADH} + \text{H}^+$ (fructose-1,6-diP aldolase or aldolase) or the reduction rate of NADP^+ (NADP-isocitrate dehydrogenase or ICDH). Aldolase activity was measured using the MPR 3 aldolase 123 838 Roche kit. ICDH activity was determined with isocitrate and NADP in the presence of Mn^{2+} . Enzyme activities are expressed as mol of substrate hydrolyzed in 1 min per gram of muscle (IU/g).

2.5. *Statistical Methods*

Data were analysed using a model with line (with three levels, lines A, V and R) and sex effects. A Bayesian analysis was performed. Bounded flat priors were used for all unknowns. Data were assumed to be normally distributed. Marginal posterior distributions of all unknowns were estimated by using Gibbs Sampling. After some exploratory analyses we used one chain of 10000 samples, with a burning period of 2000, thus marginal posterior distributions were estimated with 8000 samples each one. Convergence was tested for each chain using the Z criterion of Geweke (Geweke, 1992). Monte Carlo standard errors were calculated. Details of the procedure can be found in Blasco (2001) and in Sorensen & Gianola (2002). Features of the marginal posterior distribution of the differences between lines were computed. The probability of the differences between lines being higher than zero for each trait was calculated. The highest posterior density interval (HPD) at 95% was also calculated. This interval is the shortest interval with a probability of 95% of containing the true value.

3. **Results**

Inferences were made from features of marginal posterior distributions of the differences between lines. MCMC chains converged in all cases. Monte Carlo standard errors were very small and they are not offered in the tables (the highest MCse was lower than 0.001). All distributions were approximately normal, thus median mean and mode were almost the same. We offer the median because it has good statistical properties (see Blasco, 2005, for a review).

Table 1 shows the features of the marginal posterior distributions of live weight and carcass characteristics of the differences between the three lines. A comparison between growth curves reveals that at 9 weeks of age, animals of the three lines have almost the same percentage of adult weight (Pla, Piles, & Valdevira, (1997); Blasco, Piles, & Varona, 2003). As lines were measured at the same age, they are close to the same stage of maturity, thus differences between lines should not be attributed to differences in maturity. Line R, selected for growth rate, had higher liveweight than lines A and V. Considering that DoP is a trait with a low variability (Coefficient of variation (CV) = 0.03), line R has a clearly unfavourable DoP when compared with lines A and V. Rabbit slaughterhouses often pay for carcasses according to DoP, thus

this is an important trait to be considered. There were small differences in L^* between line R and lines A and V, but rather relevant differences in a^* and b^* of the loin surface were found, line R having lower a^* and b^* values. No sex effect was found in the carcass traits shown in table 1.

Table 2 shows the features of the marginal posterior distributions of the differences in organ percentages and retail cuts between the three lines. Line A had a lower percentage of liver and line R had a higher percentage of kidneys and a lower percentage of head. Regarding retail cuts, the largest differences appeared between the line selected for growth rate and the other lines, as before. Differences between lines in high priced cuts (loin and hind part) were sometimes favourable to the R line (loin percentage) or to the other lines (hind part percentage), although these differences between lines are very small due to the low variability of the traits ($CV = 0.04$ and 0.03 , for LoP and HPP, respectively). Some differences in meat/bone ratio, more relevant than the differences in retail cuts (about a 10% of the mean), were found favourable for line R. Males had a lower liver percentage (the median of the difference between males and females was -0.61) and higher percentage of thoracic cage and the hind part (the medians of the difference between males and females were 0.50 and 0.39 , respectively). Line R, selected for growth rate, tended to be fatter than the other lines (Table 3), although some differences between lines A and V, both selected for litter size, were also found, line A being fatter than line V. Total dissectible fat was about a 10% higher for line R when compared with line V, but this difference was not important considering that total dissectible fat represents a very low percentage of the carcass tissue. Females were fatter than males. The medians of the differences between males and females for SFaP, IFaP and DFaP were -0.05 , -0.21 and -0.51 , respectively, and no differences were found between sexes for PFaP.

Line R had a higher ultimate pH than the other lines (table 4). Like loin surface colour, differences of some importance between lines in a^* and b^* of loin transversal section were found. No differences were found for percentage of released water of LL muscle. No sex effect was found on meat quality traits of table 4.

The aldolase and ICDH activities of M. LL are shown in table 4. Similar values for these activities were reported by other authors (Dalle Zotte, Ouhayoun, Parigi Bini, & Xiccato, 1996; Hernandez et al., 2004). No differences were found between lines and sexes for aldolase and ICDH activities neither for A/ICDH.

4. Discussion

Bayesian techniques have been proposed as a powerful tool for meat quality analyses (Blasco, 2005). The main advantage when compared with classical techniques is the use of probability, which on one side permits greater accuracy about the uncertainty of an estimation and on the other side allows the construction of different types of probability intervals to answer different questions. For example, in table 2 the difference of meat/bone ratio between lines A and R is negative (i.e., line A has a lower meat/bone ratio than line R), but the shortest 95% probability interval contains the zero. From a classical point of view, this will lead to the conclusion that there are no significant differences between lines. However, this interval is offered only to establish the accuracy of the measurement of the difference between lines. To answer the question of whether both lines are different or not we need the probability of the difference, and we know that the probability of this difference being higher than zero is 0.03, which means that there is a probability of 97% for line R to have a higher meat/bone ratio than line A. In classical statistics, least square means of the treatments are often presented, associated with whether these treatments are significantly different, according to previous risks ($P < 0.05$ or $P < 0.01$). An advantage of Bayesian techniques when using MCMC is the easy analysis of differences or ratios between treatments. As we think that the important question is how large is the difference between lines, we prefer to present these differences, instead of the means of the lines, associated with probabilities of these differences being higher than zero and associated with their probability intervals. P-values are not equivalent to these probabilities (a P-value is not a measure of the level of significance).

The high size line selected for higher growth rate has different carcass and meat characteristics than the medium size lines selected for litter size. Some of them are favourable (higher meat/bone ratio or higher loin percentage), but some of them are unfavourable (e.g., lower dressing out percentage). Carcass composition and meat traits of different breeds have been compared (Skrivanova, Tumova, Skrivan, Marounek, Lastovkova, & Kubouskova, 1995; Lambertini, Bergoglio, Masoero, & Gramenzi, 1996) slaughtered at a fixed age, showing some differences in carcass compositions due to their genetic origin. However, comparisons with our results are difficult since breeds used were very different. Few comparisons of lines selected for different traits have been published but they compare the lines at the same weight, thus a different stage of

maturity (Pla et al., 1996; Gomez et al., 1998; Pla et al., 1998) and therefore, in these studies line selected for growth rate showed a lower meat/bone ratio and lower meat percentage of the carcass. High size lines are used as terminal sires because they have a better feed conversion ratio (Feki, Baselga, Blas, Cervera, & Gómez, 1996), due to lower maintenance costs because they are slaughtered earlier at the same commercial weight. This economic advantage is partially counteracted by a discount in the price of the rabbits due to a lower dressing out percentage. At present rabbit carcasses are not paid for according to their retail cuts or meat/bone ratio because the retail cut market is rather recent, thus breeding companies should be concerned about this lower carcass yield.

Rabbit carcasses have a low fat percentage compared with other farm animals (Ouhayoun, Montjoie, & Delmas, 1989), thus the higher dissectible fat found in line R does not represent a problem, although due to the short generation interval in rabbits and given the trend of these lines to become fatter (Hernández et al., 2004) this should be reviewed from time to time in the program. Small differences in L^* and some differences in a^* and b^* of the loin surface and of the loin transversal section have been found. Dalle Zotte & Ouhayoun (1998) found differences in L^* , a^* , b^* colour among different rabbit breeds. However, comparison with our results is difficult since in this study rabbits were slaughtered at the same weight, and colour measurements were the average of three different muscles. At present consumers do not seem to have a preference for one type or another type of carcass with respect to colour, but it would be convenient to survey changes along the selection program. Differences in pHu between other lines selected for growth rate or litter size have been found by several authors (Hulot & Ouhayoun, 1999; Blasco & Piles, 1990). Dalle Zotte & Ouhayoun (1998) found that pHu of thigh muscles was not affected by genetic origin when rabbits were slaughtered at the same weight. Our differences in pHu between lines are small, and given that there is no PSE or other pH related characteristic in meat rabbits, it does not look like a potential problem. In mammals, it is generally assumed that selection for rapid growth would turn muscle metabolism toward an enhanced glycolytic pattern during life, leading to a lower post-mortem pH in the meat (Ashmore et al., 1972). However, our results showed a higher pH in the line selected for growth rate and no differences between lines for the activity or metabolic enzymes. These results are in agreement with Hernández et al. (2004) that found that selection for growth did not affect muscle energy metabolism.

Several authors have pointed out that sex does not influence rabbit carcass traits at the commercial slaughter age (Varewyck & Bouquet, 1982; Bernardini Battaglini, Castellini & Lattaioili, 1995; Pla et al., 1996) because sexual dimorphism arises later. Our results showed no differences between sexes for most of the carcass and meat quality traits considered. The main difference between sexes appeared in carcass fatness. Total dissectible fat was about a 15% higher for females than males. Pla et al. (1998) also found similar differences between females and males for adipose tissue. These differences were not important in practice considering the low percentage of total dissectible fat in rabbit carcass.

Acknowledgments

This work was supported by MCYT project nº AGL2002-04383.

References

- Ansary, M. (1974). Développement biochimique du muscle de foetus bovin 3. Enzymes et différenciation. *Annales de Biologie Animale, Biochimie, Biophysique*, 14, 105-116.
- Ashmore, C. R., Tompkins, G., Doerr, L. (1972). Postnatal development of muscle fibre in domestic animals. *Journal of Animal Science*, 34, 37-41.
- Baselga, M., & Blasco, A. (1989). *Mejora genética del conejo de producción de carne*. Mundi -Prensa, Madrid.
- Bernardini Battaglini, M., Castellini, C., Lattaioili, P. 1995. Effect of sire strain, feeding, age and sex on rabbit carcass. *World Rabbit Science*, 3, 9-14.
- Blasco, A. (2001). The Bayesian controversy in Animal Breeding. *Journal of Animal Science*, 79, 2023-2046.
- Blasco, A. (2005). The use of Bayesian statistics in meat quality analyses: a review. *Meat Science*, 69, 115-122.
- Blasco, A., & Ouhayoun, J. (1996). Harmonization of criteria and terminology in rabbit meat research. Revised proposal. *World Rabbit Science*, 4, 93-99.
- Blasco, A., & Piles, M. (1990). Muscular pH of the rabbit. *Annales de Zootechnie*, 1990, 39, 133-136.

Blasco, A., Piles, M., & Varona, L. (2003). A Bayesian analysis of the effect of selection for growth curves in rabbits. *Genetic, Selection and Evolution*, 25, 21-41.

Dalle Zotte, A., Ouhayoun, J. (1998). Effect of genetic origin, diet and weaning weight on carcass composition, muscle physicochemical and histochemical traits in the rabbit. *Meat Science*, 50, 471-478.

Dalle Zotte, A., Ouhayoun, J., Parigi Bini, R., & Xiccato, G. (1996). Effect of age, diet and sex on muscle energy metabolism and on related physicochemical traits in the rabbit. *Meat Science*, 43, 15-24.

FAO Stat. (2004). Food and Agriculture Organization. <http://faostat.fao.org/>

Feki, S., Baselga, M., Blas, E., Cervera, C., & Gómez, E. A. (1996). Comparison of growth and feed efficiency among rabbit lines selected for different objectives. *Livestock Production Science*, 45, 87-92.

Geweke, J. (1992). Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to the calculation of posterior moments (with discussion). In: Bernardo, J.M., Berger, J.O., Dawid, A.P., Smith, A.F. (Eds.), *Bayesian statistics* 4, pp. 169- 193.

Gomez, E. A., Baselga, M., Rafel, O., & Ramon, J. (1998). Comparison of carcass characteristics in five strains of meat rabbit selected on different traits. *Livestock Production Science*, 55, 53-64.

Hernández, P., Aliaga, S., Pla, M., & Blasco, A. (2004). The effect of selection for growth rate and slaughter age on carcass composition and meat quality traits in rabbits. *Journal of Animal Science*, 82, 3133-3143.

Hulot, F., Ouhayoun, J. (1999). Muscular pH and related traits in rabbits: a review. *World Rabbit Science*, 7, 15-36.

Lambertini, L., Bergoglio, G., Masoero, G., & Gramenzi, A. (1996). Comparison between Provisal and Hyla rabbit strains. I. Slaughtering performances and muscle composition. In. *Proceedings of the 6th World Rabbit Congress*, Toulouse, France. Vol. 3. pp. 195-199.

Lebas, F., Coudert, P., Rochambeau, H., & Thébault, R. G. (1996). *Le lapin. Elevage et pathologie*. FAO, Rome.

Ouhayoun, J. (1989). La composition corporelle du lapin: Facteurs de variation. *INRA Productions Animales*, 2, 215-225.

Ouhayoun, J., & Delmas, D. (1983). Valorisation comparée d'aliments à niveaux protéiques différents, par des lapins sélectionnés sur la vitesse de croissance et par des lapins provenant d'élevages traditionnels. 2-étude de la composition azoté e et du

métabolisme énergétique des muscles L. dorsi et B. femoris. *Annales de Zootechnie*, 32, 277-286.

Ouhayoun, J., Montjoie, Y., & Delmas, D. (1989). Fatness of rabbit carcasses. Results of a survey in slaughterhouses. *Viandes et Produits Carnés*, 10, 207-213.

Pla, M., Hernandez, P., & Blasco, A. (1996). Carcass composition and meat characteristics of two rabbit breeds of different degrees of maturity. *Meat Science* 44, 85-92.

Pla, M., Piles, M., & Valdevira, J. J. (1997). Peso adulto y dimorfismo sexual de dos líneas sintéticas de conejo. *Información Técnica Económica Agraria*, 18, 342-344.

Pla, M., Guerrero, L., Guardia, D., Oliver, M. A., & Blasco, A. (1998). Carcass characteristics and meat quality of rabbit lines selected for different objectives: I. between lines comparison. *Livestock Production Science*, 54, 115-123.

Rouvier, R. (1970). Variabilité génétique du rendement à l'abattage et de la composition anatomique de lapins de trois races. *Annales de Génétique et de Sélection Animal*, 2, 325-346.

Skrivanova, V., Tumova, E., Skrivan, M., Marounek, M., Lastovkova, J., & Kubouskova, M. (1995). Comparison of performance, digestibility of nutrients and quality of meat in four breeds of broiler rabbits. *Annals Zootechnie*, 44 (Suppl), 351.

Sorensen, D., & Gianola, D. (2002). Likelihood, Bayesian, and MCMC Methods In *Quantitative Genetics*. Springer. New York.

Taylor, C. S. (1985). Use of genetic size-scaling in evaluation of animal growth. *Journal of Animal Science*, 61, 118-143.

Valin, C., Touraille C., Vigneron P., & Ashmore C. R. (1982) Prediction of lamb meat quality traits based on muscle biopsy fibre typing. *Meat Science* 6, 257-263.

Varewyck, H., Bouquet, Y. (1982) relations entre la composition tissulaire de la carcasse de lapins de boucherie et celle des principaux morceaux. *Annales de Zootechnie*, 31, 257-268.

Table 1. Live weight and carcass characteristics of three lines of rabbits

	A-V				A-R			V-R		
	Mean	Median	P>0	HPD	Median	P>0	HPD	Median	P>0	HPD
LW, g	2181	34.9	0.78	-51, 120	-719	0.0	-803, -628	-751	0.0	-837, -665
DoP, %	55.3	-0.09	0.42	-0.91, 0.73	1.8	1.0	0.96, 2.65	1.9	1.0	1.1, 2.7
CCW, g	1205	16.8	0.72	-37.0, 71.8	-355	0.0	-410, -300	-371	0.0	-426, -317
RCW, g	948	22.7	0.83	-23.3, 67.5	-274	0.0	-320, -227	-296	0.0	-342, -250
L*	56.1	-0.36	0.20	-1.2, 0.48	-0.83	0.03	-1.69, 0.04	-0.46	0.14	-1.3, 0.39
a*	3.2	-0.18	0.14	-0.50, 0.14	0.84	1.0	0.51, 1.18	1.0	1.0	0.69, 1.3
b*	0.47	0.89	0.98	0.07, 1.7	1.5	1.0	0.67, 2.4	0.61	0.92	-0.18, 1.5

Features of the marginal posterior distributions of the differences between rabbit lines, differences between lines A and V (A-V), lines A and R (A-R) and lines V and R (V-R). LW: liveweight (g); DoP: dressing out percentage; CCW: chilled carcass weight (g); RCW: reference carcass weight; L*: lightness of loin surface; a*: redness of loin surface; b*: yellowness of loin surface.

P>0: probability of the difference of being higher than 0. HPD: high posterior density interval at 95% of probability.

Table 2. Organ percentages and retail cuts of three lines of rabbits

	A-V			A-R			V-R			
	Mean	Median	P>0	HPD	Median	P>0	HPD	Median	P>0	HPD
HP, %	8.76	0.13	0.81	-0.15, 0.41	0.84	1.0	0.56, 1.13	0.72	1.0	0.43, 0.99
LvP, %	7.49	-1.08	0.0	-1.57, -0.58	-1.25	0.0	-1.76, -0.74	-0.17	0.25	-0.67, 0.33
KiP, %	1.26	-0.05	0.01	-0.10, -0.007	-0.11	0.0	-0.16, -0.06	-0.06	0.01	-0.11, -0.01
LHP, %	2.66	-0.15	0.02	-0.29, -0.01	0.10	0.92	-0.035, 0.25	0.26	1.0	0.12, 0.39
FLP, %	13.1	0.06	0.75	-0.11, 0.24	-0.42	0.0	-0.60, -0.24	-0.48	0.0	-0.65, -0.31
TP, %	9.43	-0.15	0.33	-0.79, 0.48	-0.28	0.21	-0.92, 0.38	-0.12	0.35	-0.77, 0.52
LoP, %	23.8	-0.28	0.08	-0.68, 0.13	-0.96	0.0	-1.37, -0.54	-0.68	0.0	-1.08, -0.28
HPP, %	30.0	0.90	1.0	0.54, 1.25	2.10	1.0	1.74, 2.47	1.20	1.0	0.85, 1.56
M/B	5.43	0.29	1.0	0.10, 0.47	-0.18	0.03	-0.37, 0.008	-0.47	0.0	-0.65, -0.28

Features of the marginal posterior distributions of the differences between rabbit lines, differences between lines A and V (A-V), lines A and R (A-R) and lines V and R (V-R). HP: head percentage; LvP: liver percentage; KiP: kidneys percentage; LHP: set of organs consisting of thymus, trachea, oesophagus, lung and heart percentage; FLP: fore legs percentage; TP: thoracic cage percentage; LoP: loin percentage; HPP: hind part percentage; M/B: meat/bone ratio. P>0: probability of the difference of being higher than 0. HPD: high posterior density interval at 95% of probability.

Table 3. Fat deposit percentages of three lines of rabbits

	A-V				A-R			V-R		
	Mean	Median	P>0	HPD	Median	P>0	HPD	Median	P>0	HPD
SFaP, %	0.55	0.13	1.0	0.07, 0.19	-0.09	0.0	-0.15, -0.02	-0.22	0.0	-0.28, -0.15
PFaP, %	1.53	-0.02	0.40	-0.17, 0.14	0.09	0.87	-0.06, 0.25	0.11	0.92	-0.04, 0.26
IFaP, %	1.14	0.18	1.0	0.04, 0.32	-0.16	0.01	-0.30, -0.01	-0.34	0.0	-0.48, -0.20
DFaP, %	3.22	0.30	0.99	0.03, 0.57	-0.15	0.15	-0.42, 0.14	-0.45	0.0	-0.74, -0.17

Features of the marginal posterior distributions of the differences between rabbit lines, differences between lines A and V (A-V), lines A and R (A-R) and lines V and R (V-R).SFaP: scapular fat percentage of chilled carcass; PFaP: perirenal fat percentage of chilled carcass; IFaP: inguinal fat percentage of chilled carcass; DfaP: dissectible fat percentage of chilled carcass. P>0: probability of the difference of being higher than 0. HPD: high posterior density interval at 95% of probability.

Table 4. Meat quality traits and metabolic enzymes activities of three lines of rabbits

	A-V				A-R			V-R		
	Mean	Median	P>0	HPD	Median	P>0	HPD	Median	P>0	HPD
PHLL	5.54	0.005	0.63	-0.03, 0.04	-0.06	0.00	-0.09, -0.02	-0.06	0.00	-0.09, -0.03
PRW %	30.7	-0.50	0.12	-1.36, 0.34	-0.30	0.26	-1.16, 0.58	0.21	0.67	-0.65, 1.06
LL L*	53.0	0.39	0.75	-0.74, 1.56	-0.63	0.15	-1.80, 0.57	-1.00	0.004	-2.16, 0.13
LL a*	5.98	-0.96	0.00	-1.50, -0.42	1.14	1.00	0.58, 1.71	2.11	1.00	1.56, 2.66
LL b*	3.32	-0.36	0.01	-0.69, -0.04	-0.36	0.02	-0.68, -0.02	0.008	0.52	-0.32, 0.33
LL aldolase, IU/g	870	-6.50	0.43	-72.9, 67.2	-26.3	0.23	-99.2, 44.9	-20.3	0.29	-89.8, 45.5
LL ICDH IU/g	3.92	-0.15	0.15	-0.41, 0.14	-0.12	0.19	-0.39, 0.18	-0.02	0.57	-0.25, 0.30
LL A/ICDH	228	9.33	0.75	-15.0, 36.2	-0.39	0.49	-26.7, 25.9	-9.91	0.23	-35.4, 15.8

Features of the marginal posterior distributions of the differences between rabbit lines, differences between lines A and V (A-V), lines A and R (A-R) and lines V and R (V-R). PH LL: pH of the *M. Longissimus lumborum* (LL); PRW: percentage of released water of muscle LL; L*: lightness of meat of muscle LL; a*: redness of meat of muscle LL; b*: yellowness of meat of muscle LL. P>0: probability of the difference of being higher than 0. HPD: high posterior density interval at 95% of probability.

CAPÍTULO II

Comparison of texture and biochemical characteristics of three rabbit lines selected for litter size or growth rate

Beatriz Ariño, Pilar Hernández , Agustín Blasco

Departamento de Ciencia Animal. Universidad Politécnica de Valencia.

P.O. Box 22012. 46071 Valencia. Spain.

Publicado en: Meat Science, Vol. 73, pp. 687-692

Abstract

Meat texture and some biochemical characteristics that could influence meat tenderness were studied in rabbit loins. Rabbits from three synthetic lines were compared, lines V and A selected for litter size at weaning and line R selected for growth rate between weaning and slaughter time. The activities of cathepsins, collagen content and textural properties measured by Warner-Bratzler (WB) shear device and by the texture profile analyses (TPA) test were measured. Line R was more tender than line V and line A had an intermediate tenderness, Rabbit meat from line R had higher activity of cathepsins B and B+L, lower total collagen content and lower cohesiveness, springiness and chewiness, shear force and total work (area under the curve obtained with WB device) than line V. Line A had an intermediate texture between lines R and V. Our results show evidence of genetic variation between lines in rabbit meat tenderness.

Keywords: Bayesian statistics; Cathepsins; Collagen; Texture; Rabbit lines.

1. Introduction

Rabbit meat consumption is important in the Mediterranean area, especially in France, Italy and Spain (FAO Stat, 2004). Recently, increasing interest in the sensorial properties of rabbit meat has been shown, and tenderness is probably one of the most important eating quality attributes of rabbit meat (Della Zote, 2002). Selection programs in rabbit commercial schemes are based in a three way crosses in which two lines are selected for litter size and one line is selected for growth rate (Baselga, & Blasco, 1989; Lebas, Coudert, Rochambeau, & Thébault, 1996). Few studies comparing lines selected for different traits have been published. Pla, Hernández & Blasco (1996), Gomez, Baselga, Rafel & Ramon (1998) and Pla, Guerrero, Guardia, Oliver & Blasco (1998) compared lines selected for litter size or growth rate, but they compared the lines at the same weight, thus at different state of maturity, and only Pla et al. (1998) studied textural properties.

Tenderness can be instrumentally measured by Warner-Bratzler (WB) shear device and by the texture profile analysis (TPA) (Honikel, 1998). Meat tenderness depends mainly on the post-mortem changes affecting myofibrillar proteins and on the connective tissue that represents the “background” toughness. Proteolytic enzymes such as cathepsins are involved in structural and biochemical changes taking place during post-mortem storage of meat (Koomarie, 1994). However, the contribution of cathepsins to meat tenderization is not clear (see Hopkins & Thompson, 2002 for a review). Several studies in different species have indicated an influence of the genetic type on the activity of cathepsins (Armero, Barbosa, Toldra, Baselga, & Pla, 1999; Hernández, Zomeño, Ariño, & Blasco, 2004b, in pork; Schreurs, Van der Heide, Leenstra, & De Wit, W., 1995, in chicken; and Uytterhaegen, Claeys, Demeyer, Lippens, Fiems, Boucqué, van De Vorde, & Bastiaens, 1994 in beef) although no comparisons between rabbit lines are available for the activity of these enzymes. Meat texture can also be affected by the quantity of collagen as well as its solubility (see Bailey & Light, 1989 for a review). Information about collagen content and its solubility in rabbit meat is scarce (Combes, Lepetit, Darche & Lebas, 2003). At present, there is no information about the influence of genetic type on collagen content and its solubility in rabbit meat.

Recently, Blasco (2005) has proposed Bayesian statistics and Monte-Carlo Markov Chain (MCMC) as a new and powerful tool for meat quality analyses. In

classical statistics, a significant difference does not provide an exact measurement of the evidence provided by the data. A P-value cannot be interpreted as a measure of significance because when repeating the experiment, the P-value changes. An advantage of Bayesian procedures is that we have an exact account of the evidence provided by the experiment. Thus, the probability of differences between lines being higher than 0 can be for example 0.94 or 0.89, and we still can consider that we have evidence enough of these differences for our purposes.

The objective of this study was to compare meat texture and some biochemical characteristics that could influence the tenderness of rabbit meat from lines selected for litter size or growth rate using Bayesian statistical techniques.

2. Materials and methods

2.1. Animals

Rabbits from three synthetic lines were used in the experiment. Line A has a New Zealand origin, line V is a blend of New Zealand and California origins and line R was formed by mixing commercial hybrids used as terminal sires. Line V and A were selected for litter size at weaning for 30 and 33 generations respectively. Line R was selected for growth rate between weaning (at 4th week of life) and slaughter time (9th week of life) for 24 generations in the farm of the Univesidad Politécnica de Valencia.

Forty animals of each line were reared in collective cages (50 x 80 x 33cm) with eight rabbits per cage from weaning to slaughter. Animals were fed *ad libitum* with a commercial diet (barley and wheat as the primary grains, wheat bran, barley straw, and alfalfa hay as the fiber source) formulated for growing rabbits (16% crude protein, 15.5% fiber, 3.4% fat). Animals were slaughtered at the abattoir on the farm, thus they did not suffer stress due to transport. Animals were electrically stunned and bled without fasting. After slaughter and bleeding, the carcasses were suspended from the calcaneus tendon for 30 min at room temperature (20°C) and then cooled in a refrigerated chamber at 3°C until 24 h post-mortem. After that, carcasses were prepared according to the standard procedures of the World Rabbit Science Association (WRSA) (Blasco & Ouhayoun, 1996) and the *Longissimus* muscles were dissected. *Longissimus* muscles from the left side of the carcasses were used. Twenty loins per line were used for texture analysis. The other twenty loins per line were used for the rest of the

analyses. After sampling, muscles were vacuum-packed in aluminium bags and kept at -20°C until analysis.

2.2. Assays of cathepsins activities and cysteine proteinase inhibitors activity

Two grams of *Longissimus* muscle were homogenised in 25 ml 50 mM sodium citrate buffer, pH 5.0, containing 1 mM EDTA and 0.2% (v/v) Triton X-100. The homogenate was centrifuged at 10000 g for 20 min, and the resulting supernatant filtered through glass wool and used for cathepsin assays.

Cathepsin B, B+L and H were assayed as previously described by Toldrá & Etherington (1988), using N-CBZ-L-arginyl-7-amido-4-methylcoumarin, N-CBZ-L-phenylalanyl-L-arginine-7-amido-4-methylcoumarin, both at pH 6.0, and L-arginine-7-amido-4-methylcoumarin at pH 6.8 as specific fluorimetric substrates of cathepsin B, B+L and H, respectively. The reaction mixture consisted of 50 µl of enzyme extract and 250 µl of reaction buffer, 40 mM sodium phosphate, containing 0.4 mM EDTA, 10 mM cysteine, and 0.05 mM of the specific substrate. The reaction mixtures were incubated at 37°C and fluorescence was followed continuously at an excitation wavelength of 355 nm and an emission wavelength of 460 nm. One unit of cathepsin activity was defined as the amount of enzyme hydrolysing 1 µmol of substrate in 1 h at 37°C.

The assay of the lysosomal cysteine proteinase inhibitors was carried out according to Bige, Ouali, & Valin (1985), with the following modifications: to 1 ml of the muscle extract, obtained as previously described for cathepsins, was added 5 N NaOH until the extract reached a pH of 10 and incubated at 37 °C for 60 min in order to destroy any residual proteolytic activity. The pH was readjusted to 6.0 by addition of 5 N HCl, the suspension centrifuged at 14000 g for 10 min at 4 °C, and the pH of supernatant increased to 7.6 with 5 N Na OH. One hundred µl of the prepared extract was incubated at 37 °C for 30 min with 50 µl of 10nM papain. Then, 150 µl of reaction buffer (100mM sodium acetate, pH 6.0, containing 1 mM EDTA, 5mM dithiothreitol, 0.1% Brij-35 and 20 µM N-CBZ-L-phenylalanyl-L-arginine- AMC) was added and incubated at 37°C again for 10 min. The fluorescence was measured as previously described for cathepsins. One unit of cysteine proteinase inhibitors was defined as the amount of inhibitor capable of totally blocking one unit of papain activity.

2.3. Collagen content

Total and insoluble collagen contents were measured in the *Longissimus* muscle in twelve animals per line and expressed as mg hydroxyproline/g fresh muscle, as in Bonnet & Kopp (1984). The solubilised samples were used to measure insoluble collagen content following a variation of the method described by Hill (1996). The soluble collagen was determined as the difference between total collagen and insoluble collagen and the solubility and insolubility percentages were calculated.

2.4. Texture analysis

Muscle samples were thawed at 4°C/24 h in their vacuum-packed plastic bag, cooked at 80°C for 1h by immersion in a water bath with automatic temperature control (Combes et al., 2003) and then cooled at room temperature (20±2°C) before the analysis. The samples for Warner-Bratzler shear test (WB) were obtained by cutting at least two rectangles of 2 x 1 cm of cross section, parallel to the muscle fibre direction (Guerrero & Guàrdia, 1999). They were completely cut using a WB shear blade with a triangular slot cutting edge and three parameters were measured: the maximum shear force (Møller, 1980), the shear firmness (Brady & Hunecke, 1985) and the total work performed to cut the sample or the area under the curve obtained. Samples for Texture Profile Analysis (TPA) (Bourne, 1978) were obtained by cutting cubes of 1 cm each side parallel to the muscle fibre direction and then compressing to 75%. In this test the following variables were obtained: hardness, cohesiveness, springiness and chewiness. The Texture Analyser Mod. TA-XT2 (Stable Micro Systems, UK) was used for both tests and all the samples were cut or compressed perpendicular to the muscle fibre direction at a crosshead speed of 5 mm/s. The average value for each *Longissimus* sample was recorded (mean of two to four replicates).

2.5. Water holding capacity and cooking losses

To determine water holding capacity, a sample of intact meat (taken at the seventh lumbar vertebra) weighing 300±5 mg was placed on a previously desiccated and weighed (0.0001 g accuracy) 7-cm disk of Whatmann No. 1 filter paper. After weighing, the paper with meat was placed between two Plexiglas plates and a load of 2.25 kg was applied for 5 min. The damp paper filter was rapidly weight after

accurately removing the compressed meat. The mean of two replicates were used in analysis. The percentage of released water (PRW) was calculated as ratio per cent of weight of released water (damp filter paper weight – dry filter paper weight) to intact meat.

Cooking losses (CL) were evaluated by cooking the *Longissimus* muscle as described in the texture analysis, followed by weighing. CL is the ratio (x 100) of the difference in weight between the cooked and raw muscle relative to the weight of raw muscle.

2.6. Statistical Methods

Data were analysed using a model with line (with three levels, lines A, V and R) and sex effects. A Bayesian analysis was performed. Bounded flat priors were used for all unknowns. Data were assumed to be normally distributed. Marginal posterior distributions of all unknowns were estimated by using Gibbs Sampling. After some exploratory analyses we used one chain of 10000 samples, with a burning period of 2000, thus marginal posterior distributions were estimated with 8000 samples each. Convergence was tested for each chain using the Z criterion of Geweke (Geweke, 1992). Monte Carlo standard errors were calculated. Details of the procedure can be found in Blasco (2001) and in Sorensen & Gianola (2002).

3. Results and discussion

Inferences were made from features of marginal posterior distributions of the differences between lines. Posterior distributions were symmetrical, thus median mean and mode were almost same. We offer the median because it has good statistical properties (see Blasco, 2005, for a review). Monte Carlo standard errors were very small and they are not offered in the tables (the highest MCse was lower than 0.001). The Geweke test did not detect lack of convergence in any case. In order to answer the question of whether two of the lines are different or not, we calculated the probability of this difference being higher than 0 ($P > 0$). An advantage of Bayesian procedures is that we have an exact account of the evidence provided by the experiment. Thus, the probability of differences between lines being higher than 0 can be for example 0.94 or 0.89, and we still can consider that we have evidence enough of these differences for

our purposes. When differences are lower than zero, high evidence of these differences is provided by probabilities near 0, for example, $(P>0) = 0.02$ or $(P>0) = 0.09$. A comparison between growth curves reveals that at 9 week of age, animals of the three lines have almost the same percentage of adult weight (Pla, Piles, & Valdevira, (1997); Blasco, Piles, & Varona, 2003), therefore differences between lines should not be attributed to differences in maturity since lines were measured at the same age, thus they are close to the same stage of maturity.

3.1. Cathepsin activities and their inhibitors

Table 1 shows the features of the estimated marginal posterior distributions of the differences between lines for cathepsin activities and their inhibitors. Several studies have indicated differences in the genetic type for the activity of cathepsins in pork (Armero et al. 1999, Hernández et al., 2004b), in chicken (Schreus et al. 1995) and in beef (Uytterhaegen et al., 1994). However, at present there are no studies about the influence of genetic type in the activity of these enzymes in rabbit meat. Line R showed higher activity of cathepsin B and B+L than lines V and A, and line A showed a higher activity of cathepsin B than line V. However, the rate cat (B+L)/cat B , which is an indicator of the activity of cat L, showed differences between lines A and V with a higher value in line V, but no differences were found when compared with line R. The activity of cathepsin H was higher in line A than in lines V and R. No differences between lines were found for the cysteine proteinase inhibitors. A sex effect was found for the activity of cathepsine B and B+L (data not shown) with higher values for females (differences between males and females of -0.06 and -0.16 for cathepsin B and B+L, respectively).

In chicken, Schreurs et al. (1995) found differences in the activity of cathepsins and their inhibitors, cystatins, among strains with different growth rates. In this experiment, the experimental broiler line selected by high body weight, showed lower cathepsin B, D and H activities. However, Gil et al. (2006) found that selection for growth rate did not affect the activities of proteolytic enzymes and of their inhibitors in rabbit meat. In our experiment the line R, selected for growth rate, had a higher activity of cathepsins B and B+L than the lines selected for litter size at weaning. Differences between lines are not only due to growth rate, but to other traits derived from their different genetic background. Russo et al. (2000) found a moderate heritability (0.23-

0.28, although with high standard errors) in pigs, for the activity of cathepsin B, suggesting the possible use of cathepsin B as a selection criteria for genetic improvement of meat tenderness.

3.2. Collagen content

The features of the estimated marginal posterior distributions of the differences between lines for total collagen content and the percentages of solubility and insolubility are summarized in table 2. Collagen content is influenced by rabbit line, line R having a lower content than lines A and V; while the probability of the differences between lines A and V being higher than zero is low ($P > 0$) = 0.55. Collagen content varies between breeds in different species (Sañudo, Macie, Olleta, Villarroel, Panea, & Alberti, 2004, in beef; Martínez-Cerezo et al., 2005, in lamb) but at present there is no comparison between different rabbit genetic types. Regarding the percentages of soluble and insoluble collagen, no differences were found between lines A and V but there was some evidence of differences between line R and the other lines. The percentage of soluble collagen is remarkable high in rabbit meat (around 60%) compared with other species (Combes et al., 2003). Regarding the sex effect, differences between males and females for collagen content were 0.49 with a ($P > 0$) = 0.97 and no differences between sex were found for the percentage of collagen solubility and insolubility.

3.3. Textural properties

Table 3 shows the features of the marginal posterior distributions of the differences between lines for instrumental texture variables measured by the WB and TPA methods. The largest differences appeared between line R selected for growth rate and the other lines. The results from the WB test showed significant differences for shear force and total work (defined as area) and no differences among lines (low probability) were found for shear firmness. Line V had higher values of shear force and area than line R and line A had a higher value of area than line R, while no differences were found between lines A and V. The results from the TPA (table 3) showed differences between groups in cohesiveness, springiness and chewiness whereas the evidence for differences in hardness was low. According to these results, line V had higher cohesiveness, springiness and chewiness than line R and higher cohesiveness and

chewiness than line A, and no differences were found between lines A and R. No differences between sexes were found for instrumental texture characteristics measured by the WB and TPA methods.

Most of the texture variables measured indicate that the meat from rabbits of line R is the most tender and the meat from rabbits of line V is the least tender, line A having an intermediate tenderness. Results from sensory analysis of the same samples (Hernández, Ariño, Pla & Blasco, 2005) showed line V was harder, more fibrous and less juicy than lines A and R. No differences between lines A and R were found for these traits. Pla, Guerrero, Guardia, Oliver & Blasco (1998) studied texture properties measured by the WB method comparing lines selected for litter size or growth rate, but they compared the lines at the same weight, thus at different stage of maturity. In our experiment the differences between lines are not due to different stage of maturity because all lines were measured at the same age and not at the same weight, i.e., close to the same stage of maturity.

3.4. Water holding capacity and cooking losses

Low evidence of differences between lines were found for water holding capacity and cooking losses (Table 4). In rabbits, our group have reported a negative effect of selection for growth rate on water holding capacity (Piles, Blasco & Pla, 2000; Hernández, Aliaga, Pla & Blasco, 2004a). However, the line R selected for growth rate had similar values for PRW to lines V and A, selected for litter size. Similarly, Pla et al. (1998) did not find differences in water holding capacity between rabbit lines but compared at the same weight. Comparable cooking losses were found by Combes et al. (2003) in rabbit meat cooked as in our experiment. These authors found that cooking losses increase with the increase of temperature to reach a maximum at 80°C and then remain stable between 80-90°C. Nevertheless, the largest part of cooking losses are achieved after 20 min heating. No sex effect was found for percentage or released water and cooking losses.

In conclusion, our results show evidence of genetic variation between lines in rabbit meat tenderness. Meat from the high size line selected for growth rate (line R) was more tender than meat from rabbits of line V, and line A had an intermediate tenderness. Rabbit meat from line R had higher activity of cathepsins B and B+L, lower

total collagen content and lower cohesiveness, springiness and chewiness than line V. Also, line R had a lower shear force than line V, and a lower total work (area under the curve obtained with WB device) than in line V was necessary to cut the sample. Line A presented an intermediate texture characteristic between lines R and V. Although meat tenderness is one of the main attributed that determines meat quality, at present this characteristic is not taken into account in the price of rabbit meat. However, these better texture characteristics could be an added value in the use of high size lines as terminal sires.

Acknowledgments

This work was supported by MCYT project nº AGL2002-04383.

References

- Armero, E., Barbosa, J. A., Toldra, F., Baselga, M., & Pla, M. (1999). Effects of the terminal sire type and sex on pork muscle cathepsins (B, B + L and H), cysteine proteinase inhibitors and lipolytic enzyme activities. *Meat Science*, 5, 185-189.
- Bailey, A. J., & Light, N. D. (1989). The role of connective tissue in determining the textural quality of meat. In *Connective tissue in meat and meat products*, pp. 170-194. Elsevier Applied Science, London, UK.
- Baselga, M., & Blasco, A. (1989). *Mejora genética del conejo de producción de carne*. Mundi -Prensa, Madrid.
- Bige, L., Ouali, A., & Valin, C. (1985). Purification and characterization of a low molecular weight cysteine proteinase inhibitor from bovine muscle. *Biochimica et Biophysica Acta*, 843, 269-275.
- Blasco, A. (2001). The Bayesian controversy in Animal Breeding. *Journal of Animal Science*, 79, 2023-2046.
- Blasco, A. (2005). The use of Bayesian statistics in meat quality analyses: a review. *Meat Science*, 69, 115-122.
- Blasco, A., & Ouhayoun, J. (1996). Harmonization of criteria and terminology in rabbit meat research. Revised proposal. *World Rabbit Science*, 4, 93-99.
- Blasco, A., Piles, M., & Varona, L. (2003). A Bayesian analysis of the effect of selection for growth curves in rabbits. *Genetic, Selection and Evolution*, 25, 21-41.

Bonnet, M., & Kopp, J. (1984). Dossage du collagène dans les tissus conjonctives, la viande et les produits carnés. *Cahiers Techniques du INRA*, 5, 19-30.

Bourne M.C. (1978). Texture Profile Analysis. *Food Technology* 32, 62-66, 72.

Brady, P.L., & Hunecke M.E. (1985). Correlations of sensory and instrumental evaluations of roast beef texture. *Journal of Food Science*, 50, 300-303.

Combes, S., Lepetit, J., Darce, B., & Lebas, F. (2003). Effect of cooking temperature and cooking time on Warner-Bratzler tenderness measurement and collagen content in rabbit meat. *Meat Science*, 66, 91 - 96.

Dalle-Zotte, A. (2002). Perception of rabbit meat and major factors influencing the rabbit carcass and meat quality. *Livestock Production Science*, 75, 11-32.

FAO Stat. (2004). Food and Agriculture Organization. <http://faostat.fao.org/>

Geweke, J., (1992). Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to the calculation of posterior moments (with discussion). In: Bernardo, J.M., Berger, J.O., Dawid, A.P., Smith, A.F. (Eds.), *Bayesian statistics* 4, pp. 169- 193.

Gil M., Ramírez A., Pla M., Ariño B., Hernández P., Pascual M., Blasco A., Guerrero L., Hajós G., Szerdahelyi E.N., & Oliver M.A. (2006). Effect of selection for growth rate on the ageing of myofibrils, meat texture properties and the muscle proteolytic potential of *m. longissimus* in rabbits. *Meat Science*, 72, 121-129.

Gomez, E. A., Baselga, M., Rafel, O., & Ramon, J. (1998). Comparison of carcass characteristics in five strains of meat rabbit selected on different traits. *Livestock Production Science*, 55, 53-64.

Guerrero, L., & Guàrdia, D. (1999). Evaluación de la ternera de ternera: Relación entre las medidas sensorial e instrumental según la dirección de las fibras musculares. *VIII Jornadas sobre Producción Animal*. Vol. Extra, No. 20. Tomo I.

Hernández, P., Aliaga, S., Pla, M., & Blasco, A. (2004)a. The effect of selection for growth rate and slaughter age on carcass composition and meat quality traits in rabbits. *Journal of Animal Science*, 82, 3133-3143.

Hernández, P., Ariño, A., Pla, M., & Blasco, A. (2005) A new data analysis tool for sensory science: Bayesian rabbit breed comparison for meat quality. *EFFoST 2005. INTRADFOOD2005 – Innovations in Traditional Foods*. 25 – 28 October, 2005. Valencia. SPAIN.

Hernández, P., Zomeño, L., Ariño, B., & Blasco, A. (2004)b. Antioxidant, lipolytic and proteolytic enzyme activities in pork meta from different genotypes. *Meat Science*, 66, 525-529.

Hill, F. (1966). The solubility of intramuscular collagen in meat animals of various ages. *Journal of Food Science*, 31, 161-166.

Honikel, K. O. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, 49, 447-457.

Hopkins, D. L., & Thompson, J. M. (2002). Factors contributing to proteolysis and disruption of myofibrillar proteins and the impact on tenderisation in beef and sheep meat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53, 149-166.

Koohmaraie, M. (1994). Muscle proteinases and meat ageing. *Meat Science*, 36, 93-104.

Lebas, F., Coudert, P., Rochambeau, H., & Thébault, R. G. (1996). *Le lapin. Elevage et pathologie*. FAO, Rome.

Martínez-Cerezo, S., Sañudo, C., Panea, B., Medel, I., Delfa, R., Sierra, I., Beltán, J. A., Cepero, R., & Olleta, J. L. (2005). Breed, slaughter weight and ageing time effects on physico-chemical characteristics of lamb meat. *Meat Science*, 69, 325-333.

Møller, A. (1980). Analysis of Warner Bratzler shear force pattern with regard to myofibrillar and connective tissue components of tenderness. *Meat Science*, 5, 247-260.

Piles, M., Blasco, A., & Pla, M. (2000). The effect of selection for growth rate on carcass composition and meat characteristics of rabbits. *Meat Science*, 54, 347-355.

Pla M., Hernández P., & Blasco A. (1996). Carcass composition and meat characteristics of two rabbit breeds of different degrees of maturity. *Meat Science* 44, 85-92.

Pla, M., Piles, M., & Valdevira, J. J. (1997). Peso adulto y dimorfismo sexual de dos líneas sintéticas de conejo. *Información Técnica Económica Agraria*, 18, 342-344.

Pla M., Guerrero L., Guardia D., Oliver M. A., & Blasco A. 1998. Carcass characteristics and meat quality of rabbit lines selected for different objectives: I. between lines comparison. *Livestock Production Science*, 54, 115-123.

Russo, V., Buttazzoni, L., Baiocco, C., Davoli, R., Nanni, L., Schivazappa, C. & Virgili, C. (2000). Heritability of muscular cathepsin B activity in Italian large white pigs. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 117, 37-42.

Sañudo, C., Macie, E. S., Olleta, J. L., Villarroel, M., Panea, B., & Alberti, P. (2004). The effects of slaughter weight, breed type and aging time on beef meat quality using two different texture devices. *Meat Science*, 66, 925-932.

Schreurs, F. J. G., Van der Heide, D., Leenstra, F. R., & De Wit, W. (1995). Endogenous proteolytic enzymes in chicken muscles. Differences among strains with different growth rates and protein efficiencies. *Poultry Science*, 74, 523-537.

Sorensen, D., & Gianola, D. (2002). Likelihood, Bayesian, and MCMC Methods In *Quantitative Genetics*. Springer. New York.

Toldrá, F., & Etherington, D. J. (1988). Examination of cathepsins B, D, H and L activities in dry-cured hams. *Meat Science*, 23, 1-7.

Uytterhaegen, L. Claeys, E., Demeyer, D., Lippens, M., Fiems, L. O., Boucqué, C. Y., van De Vorde, G., & Bastiaens, A. (1994). Effects of double muscling on carcass quality, beef tenderness and myofibrillar protein degradation in Belgian Blue White bulls. *Meat Science*, 38, 255-267.

Table 1. Activity of Cathepsins and their Cysteine proteinase inhibitors (U/g) of *Longissimus* muscle of three lines of rabbits.

			A-V			A-R			V-R		
	Mean	CV	Median	P>0	HPD	Median	P>0	HPD	Median	P>0	HPD
B	0.710	21.0	0.070	0.95	-0.018; 0.167	-0.098	0.02	-0.196; 0.007	-0.176	0.00	-0.273; 0.079
B+L	2.28	15.8	0.085	0.79	-0.137; 0.315	-0.379	0.00	-0.615; -0.163	-0.471	0.00	-0.704; -0.240
(B+L)/B	3.27	11.7	-0.203	0.05	-0.458; 0.010	-0.050	0.34	-0.288; 0.161	0.154	0.89	-0.085; 0.370
H	0.642	20.5	0.065	0.94	-0.017; 0.149	0.089	0.98	0.004; 0.170	0.022	0.69	-0.063; 0.107
CPI	6.52	12.6	0.190	0.77	-0.355; 0.648	-0.051	0.41	-0.568; 0.463	-0.240	0.16	-0.754; 0.224

Features of the marginal posterior distributions of the differences between rabbit lines, differences between lines A and V (A-V), lines A and R (A-R) and lines V and R (V-R). B: cathepsin B; B + L: cathepsin B + L; B+L/B: cathepsin B+L/ cathepsin B; H: cathepsin H; CPI: cystein proteinase inhibitors. CV: Coefficient of variation x 100. P>0: probability of the difference of being higher than 0. HPD: high posterior density interval at 95% of probability.

Table 2. Collagen content (mg/g of fresh muscle), soluble collagen % (CS) and insoluble collagen % (CI) of *Longissimus* muscle of three lines of rabbits.

	Mean	CV	A-V			A-R			V-R		
			Median	P>0	HPD	Median	P>0	HPD	Median	P>0	HPD
Collagen	6.80	12.6	0.006	0.55	-0.521; 0.813	0.947	1.00	0.376; 1.65	0.971	0.99	0.390; 1.65
CS, %	60	9.84	-0.522	0.37	-4.35; 4.85	2.21	0.85	-1.72; 7.08	3.13	0.92	-0.872; 7.84
CI, %	40	15.7	1.34	0.71	-2.78; 7.12	-2.01	0.23	-6.34; 3.13	-3.01	0.10	-7.32; 2.05

Features of the marginal posterior distributions of the differences between rabbit lines, differences between lines A and V (A-V), lines A and R (A-R) and lines V and R (V-R). CV: Coefficient of variation x 100. P>0: probability of the difference of being higher than 0. HPD: high posterior density interval at 95% of probability.

Table 3. Textural variables by the Warner-Bratzler method and Texture Profile Analysis (TPA) of *Longissimus* muscle of three lines of rabbits.

	Mean	CV	A-V			A-R			V-R		
			Median	P>0	HPD	Median	P>0	HPD	Median	P>0	HPD
Warner											
Bratzler											
Shear Force	3.57	21.2	-0.131	0.29	-0.632; 0.339	0.235	0.83	-0.261; 0.716	0.371	0.94	-0.114; 0.814
Shear firmness	1.69	23.3	-0.016	0.45	-0.278; 0.229	0.026	0.58	-0.233; 0.277	0.045	0.64	-0.209; 0.276
Area	5.29	18.5	-0.308	0.18	-0.990; 0.325	0.649	0.97	-0.012; 1.300	0.959	1.00	0.343; 1.60
TPA Test											
Hardness	11.7	12.5	-0.343	0.23	-1.24; 0.574	0.076	0.58	-0.812; 0.998	0.424	0.81	-0.491; 1.333
Cohesiveness	0.466	4.83	-0.015	0.02	-0.029; -0.001	0.003	0.65	-0.011; 0.017	0.017	0.99	0.003; 0.031
Springiness	0.490	8.31	-0.007	0.28	-0.033; 0.018	0.012	0.82	-0.013; 0.038	0.019	0.93	-0.006; 0.045
Chewiness	2.70	21.2	-0.234	0.09	-0.588; 0.124	0.094	0.70	-0.254; 0.454	0.329	0.96	-0.031; 0.682

Features of the marginal posterior distributions of the differences between rabbit lines, differences between lines A and V (A-V), lines A and R (A-R) and lines V and R (V-R). Units: Shear Force (Kg/cm²), Shear firmness (Kg/s cm²), Area (Kg s/cm²), Hardness (Kg), Chewiness (Kg). CV: Coefficient of variation x 100. P>0: probability of the difference of being higher than 0. HPD: high posterior density interval at 95% of probability.

Table 4. Water holding capacity (PRW) and cooking losses (CL) of *Longissimus* muscle of three lines of rabbits.

			A-V			A-R			V-R		
	Mean	CV	Median	P>0	HPD	Median	P>0	HPD	Median	P>0	HPD
PRW %	30.8	8.90	-0.924	0.17	-2.63; 0.821	0.321	0.65	-1.47; 2.00	1.20	0.91	-0.583; 2.96
CL %	36.7	8.10	-0.628	0.26	-2.51; 1.18	-0.359	0.33	-2.25; 1.45	0.241	0.59	-1.55; 2.20

Features of the marginal posterior distributions of the differences between rabbit lines, differences between lines A and V (A-V), lines A and R (A-R) and lines V and R (V-R). P>0: probability of the difference of being higher than 0. HPD: high posterior density interval at 95% of probability.

CAPÍTULO III

Comparison between rabbit lines for sensory meat quality.

A Bayesian approach

B. Ariño, P. Hernández *, M. Pla, A. Blasco

Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ciencia Animal. P.O. Box

22012. Valencia 46071. Spain

Enviado para su publicación a: Meat Science.

Abstract

Rabbits from three synthetic lines were used in the experiment. Line R was selected for growth rate for 24 generations. Lines V and A were selected for litter size at weaning for 30 and 33 generations, respectively. A sensory analysis was carried out on *Longissimus* muscle. The parameters evaluated were: juiciness (J), hardness (H), fibrousness (F), flouriness (FI), intensity of rabbit flavour (IRF), aniseed odour (AO), aniseed flavour (AF), liver odour (LO) and liver flavour (LF). A Bayesian analysis was performed. Line V was only an 82% as juicy as line R. Line V was an 18% harder and a 17% more fibrous than line R. Lines A and R had the same H and F. No differences in FI were found. Small effects were found for flavour traits. We conclude that line origin has an influence on some sensory traits determining rabbit meat tenderness.

Key words: Rabbits, Breeds, Sensory traits, Bayesian analysis.

1. Introduction

In rabbit, sensory properties are one of the main criteria influencing consumer's choice (Dalle-Zotte, 2002), especially regarding tenderness and flavour. These traits can be genetically determined by major genes or by sets of genes of moderate effects. If this would be the case, sensory quality might be modified by selection or crossing. Even if sensory qualities are determined by a large number of genes with small effects, some breeds can have the favourable alleles in a higher proportion than other breeds. A first step in these studies is to compare breeds of different genetic origins for the traits of interest. Rabbit lines have been compared for carcass and meat quality (see, for example, Pla, Hernández, & Blasco, 1996; Pla, Guerrero, Guardia, Oliver, & Blasco, 1998), but sensory analysis are scarce.

A difficulty for sensory analysis comparison is the small sample size of this type of experiments. Moreover, the scoring of panel tests is difficult to be interpreted in terms of meat quality; for example, a difference in two points of aniseed flavour between two treatments does not indicate whether this difference is relevant or not. Recently, a Bayesian statistical approach through Monte-Carlo Markov Chain (MCMC) procedure has been proposed for meat quality in order to help with these difficulties (Blasco, 2005). This approach allows the use of probability for treatments comparison, thus instead of the classic levels of significance, we can obtain the actual probability of a treatment being higher than other, or the probability of a difference between treatments of being higher than a proposed relevant quantity. We can also use ratios between treatments instead of differences, which are particularly useful in sensory analyses as Hernández et al. (2005) showed. Another advantage is the possibility of easy construction of all kind of confidence intervals. For example, if we are interested in the minimum value that a treatment or a difference between treatments can take, we can find intervals of the type $[k, +\infty)$ having a 95% of the probability of finding the true value within the interval. With these intervals we know that the probability of the difference between treatments of being lower than k is only a 5%; i.e., the difference between treatments will have at least a value of k . This procedure gives a high flexibility for the interpretation of sensory analyses. Our objective is to

estimate the between breed genetic variability in the sensory characteristics of rabbit meat using a Bayesian-MCMC approach.

2. Material and Methods

2.1. Animals

Rabbits from three synthetic lines were used in the experiment. Line A has a New Zealand origin, line V is a blend of New Zealand and California origins and line R was formed by mixing commercial hybrids used as terminal sires. Rabbits were weaned at four weeks of life. Line R was selected for growth rate between weaning and slaughter time (9th week of life) for 24 generations. Lines V and A were selected for litter size at weaning for 30 and 33 generations, respectively. Forty animals of each line were reared in collective cages (50 x 80 x 33cm) with eight rabbits per cage from weaning to slaughter. Animals were fed *ad libitum* with a commercial diet (barley and wheat as the primary grains, wheat bran, barley straw, and alfalfa hay as the fiber source) formulated for growing rabbits (16% crude protein, 15.5% fiber, 3.4% fat). Animals were slaughtered at 9-weeks-old at the abattoir next to the of the Univesidad Politécnica de Valencia, thus they did not suffer stress due to transport. Animals were electrically stunned and bled, and no fasting was practiced.

2.2. Sensory evaluation

A quantitative descriptive analysis was performed by six trained tasters of rabbit meat in 20 sessions. The parameters evaluated were: juiciness (J), hardness (H), fibrousness (F), flourness (F1), intensity of rabbit flavour (IRF), aniseed odour (AO), aniseed flavour (AF), liver odour (LO) and liver flavour (LF). The sensory analysis was carried out on samples of the *Longissimus* muscle following a complete block design. Samples were vacuum packed and cooked in a water bath at 80°C for 1 hour. Samples were cut into four pieces and distributed in such way to the panellist to eliminate any location effect within the loin.

2.3. Statistical Methods

The statistical model included, line (with three levels, lines A, V and R), sex, panellist (with six levels), muscle location (with four levels) and session (with 21 levels) effects. A Bayesian analysis was performed. All inferences were made from estimated marginal posterior distributions for the effects. Bounded flat priors were used for all unknowns. Data were assumed to be normally distributed. Marginal posterior distributions of all unknowns were estimated by using Gibbs Sampling (Blasco, 2005). After some exploratory analyses we used one chain of 10,000 samples, with a burning period of 2,000, thus marginal posterior distributions were estimated with 8,000 samples each one. Convergence was tested for each chain using the Z criterion of Geweke. Details of the procedure can be found in Sorensen and Gianola (2002).

Deviance information criterion (DIC) (Spiegelhalter, Best, Carlin, & van der Linde, 2002) was calculated for models with and without line and sex effects. This criterion is used for model selection in a Bayesian context, particularly when MCMC is used. It takes into account the goodness of fitting and the number of parameters to be fitted. In our case we have used it to assess the importance of the line and sex effects. We compare the model with all the effects against the model without line or sex effects. When comparing two models, the model with a lower DIC is preferred, but according to the authors, a difference in the DIC of both models of less than 3 indicates that both models are practically the same; i.e., the difference between models is irrelevant in this case (Spiegelhalter et al., 2002).

A principal component analysis was performed using the Princomp procedure of the SAS (Statistical Analytical System, 2000) package.

3. Results and Discussion

Comparison between lines should be done at the same stage of maturity, otherwise we can attribute to the genetic origin of the lines differences that are actually due to different stages of maturity (Taylor, 1985). In other species stage of maturity is usually estimated according to the fat content of the animals, but this is not a good estimate for rabbits, since rabbit is very lean. A comparison

between growth curves of the lines used in our experiment, reveals that at 9 wk of age, animals of the three lines are almost at the same stage of maturity; i.e., at the same percentage of adult weight (Blasco, Piles, & Varona, 2003; Pla, Piles, & Valdevira, 1997). As lines were measured at 9 wk of age, they are close to the same stage of maturity, thus differences between lines should not be attributed to differences in maturity but to genetic differences between them.

Table 1 shows the average for the scoring of each trait of the sensory analysis. When there are large differences in scoring range between panellists it is convenient to typify individual scoring (Hernández et al., 2005). Exploratory analyses (box and whiskers plots) did not show evidence of relevant differences between panellists in their scoring scale, thus data were not typified in this analysis.

In sensory analyses, it is difficult to determine whether a difference between treatments is relevant or not. Scoring does not suggest whether the difference in meat quality is high or not. However, when using MCMC techniques it is easy to use ratios between treatments instead of differences. This allows examining the relative importance of treatments; i.e., how much higher or lower a treatment is with respect to other treatment in percentage. The Gibbs sampling procedure worked well and lack of convergence was not detected in any chain.

Table 2 shows the difference between the DIC of the model without line or without sex and the complete model. If this difference is negative it means that the DIC of the complete model is higher than the DIC of the model without line or sex effects, thus the complete model should be disregarded and we should consider that there is no effect of line or sex. If the absolute value of this difference is lower than 3 this means that the difference between models is irrelevant, thus we can also disregard the effect of sex or line. Only when the difference between the DIC of both models will be positive and higher than 3 we will consider that the complete model should be taken into account and therefore line or sex effects are relevant. Table 2 shows that sex effect is irrelevant with the exception of hardness. Meat from males was found to be a 6% less hard than meat from females, but this result might be due to a sampling effect, since nine traits

were examined and no sex effect was found in the others. The complete model, which includes line effect, was preferred to the model without Line effect for the texture traits Juiciness, Hardness and Fibrousnesses. In sensory characteristics, only aniseed flavour, which is considered a positive sensory trait, and liver flavour showed a line effect.

Table 3 shows the features of the marginal posterior distributions of the ratio between rabbit lines for texture characteristics. We could estimate the ratios between line effects giving the mode, median or mean of the marginal posterior distributions. We choose the median because it has some good statistical properties, but actually all these estimates were very similar because the marginal posterior distributions were approximately symmetrical. We found that line R, selected for growth rate, had the highest Juiciness. The $HDP_{95\%}$ intervals were short, showing that the sample was large enough. This $HDP_{95\%}$ interval is the equivalent to the confidence interval in the classical statistics, not to the standard errors. In classical statistics these confidence intervals are approximately twice the standard errors if the sample is big enough. Notice that these $HDP_{95\%}$ intervals are not necessarily symmetric around the median; they are the shortest ones (see Blasco, 2005, for a discussion applied to meat science). The highest distance between lines was from V to R, since line V was only an 82% as juicy as line R. A classical problem when interpreting data is that the standard errors are so high that the estimate of the difference between treatments does not give an accurate idea of what we can infer from our data. In our case, the coefficient k_1 of table 3 shows that the ratio between the line effects V and R is not higher than a 88% with a 95% of probability, which means that line V is, as a maximum, an 88% as juicy as line R. Coefficient k_2 is used when the ratio between line effects is higher than 1 and it has the same meaning. We have used 95% of probability by convention, but other probabilities may have been used. The same type of interpretation can be easily made for the rest of the traits of the sensory analysis.

Line V was the hardest and more fibrous one, an 18% harder and a 17% more fibrous than line R. Lines A and R had the same hardness and fibrousness, since the probability of the ratio A/R to be higher than 1 was only 0.77 and 0.29 respectively. No differences in flourness were found, the probabilities the ratios

being higher than 1 are low, as expected from the model comparison of table 2. Our results are in agreement with the results showed in a Texture Profile Analysis (Ariño, Hernández & Blasco, 2006) where no differences were found between lines A and R, and line V had higher cohesiveness and chewiness.

Table 4 shows the features of the marginal posterior distributions of the ratio between rabbit lines for flavour characteristics. These flavour characteristics were previously described in rabbit meat (Hernández et al. 2005; Hernández, Pla, Oliver, & Blasco, 2000; Oliver, Guerrero, Díaz, Gispert, Pla, & Blasco, 1997). In agreement with table 2, some evidence of line effect can be found for aniseed and liver flavour, but the evidence is rather weak. The highest distance between lines in aniseed flavour is between lines A and R, having line A a 19% more flavour than line R with a probability of 94%. However, the HPD_{95%} is in this case large, and the k_2 coefficient (0.99) cannot ensure us that line A has at least a higher aniseed odour than line R. For liver flavour, the highest distance appears between lines V and R, having line V only a 92% of the liver flavour that line R shows, with a probability of the effect of line V being higher than the effect of line R of only a 2%; i.e., the probability of the line V having lower liver flavour than line R is a 98%. Liver flavour is a common attribute of meat flavour but a liver flavour too intense could be considered as a negative flavour (Hernández et al. 2000; Oliver et al. 1997). Looking coefficient k_1 we only can state that line V has a liver flavour of a 98% of line R with a probability of 95%. This is a rather small effect even if its presence can be detected.

Table 5 shows the correlation coefficients between the traits of the sensory analysis. Correlations are in general low, with the signs that can be expected (for example, juiciness is negatively correlated with hardness). A better picture of the relationships between traits is shown in the results of the principal component analysis. Figure 1 shows the projection of the variables on the plane defined by the two principal components, which explained a 42% of the total variability. Texture traits define the first principal component. The second component is less clearly defined. As expected, hardness and fibrousness lay closer and the opposite as Juiciness. Liver flavour and odour lay closely. In general, flavour traits were not related to texture traits.

4. Conclusions

Line origin has an influence on some sensory traits determining rabbit meat tenderness. Line effect was not found for other sensory characteristics, or the effect found was very small. Animals were measured at the same stage of maturity, so we can consider that differences found between lines are genetic differences and no differences due to the degree of maturity.

Acknowledgments

This work was supported by Spanish MCYT project nº AGL2002-04383.

References

- Ariño, B., Hernández, P., & Blasco, A. (2006). Comparison of texture and biochemical characteristics of three rabbit lines selected for litter size or growth rate. *Meat Science*. In Press.
- Blasco, A. (2005). The use of Bayesian statistics in meat quality analyses. *Meat Science*, *69*, 115-122.
- Blasco, A., Piles, M., & Varona, L. (2003). A Bayesian analysis of the effect of selection for growth rate on growth curves in rabbits. *Genetics Selection Evolution*, *25*, 21-41.
- Dalle-Zotte, A. (2002). Perception of rabbit meat and major factors influencing the rabbit carcass and meat quality. *Livestock Production Science*, *75*, 11-32.
- Hernández, P., Guerrero, L., Ramirez, J., Mekkawy, W., Pla, M., Ariño, B., Ibañez, N., & Blasco, A. (2005). A Bayesian approach of the effect of selection for growth rate on sensory meat quality of rabbit. *Meat Science*, *69*, 123-127.
- Hernández, P., Pla, M., Oliver, M. A., & Blasco, A. (2000). Relationships between meat quality measurements in rabbits fed with three diets with different fat type and content. *Meat Science*, *55*, 379-384.

- Oliver, M. A., Guerrero, L., Díaz, I., Gispert, M., Pla, M., & Blasco, A. (1997). The effect of Fat-enriched diets on the perirenal fat quality and sensory characteristics of meat from rabbits. *Meat Science*, *47*, 95-103.
- Pla, M., Hernández, P., & Blasco, A. (1996). Carcass Composition and Meat Characteristics of two Rabbit Breeds of different Degree of Maturity. *Meat Science*, *44*, 85-92.
- Pla, M., Piles, M., & Valdevira, J.J. (1997). Peso adulto y dimorfismo sexual de dos líneas sintéticas de conejo. *Información Técnica Económica Agraria*, *18*, 342-344.
- Pla, M., Guerrero, L., Guardia, D., Oliver, M.A., & Blasco, A. (1998). Carcass characteristics and meat quality of rabbit lines selected for different objectives. I. Breed comparison. *Livestock Production Science*, *54*, 115-123.
- SAS. (2000). SAS/STAT user's guide. Release 8.1. Statistical Analysis System, SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, U. S.
- Sorensen, D. & Gianola, D. (2002). *Likelihood, Bayesian, and MCMC Methods in Quantitative Genetics*. Springer. New York.
- Spiegelhalter, D. J., Best, N. G., Carlin, B. P., & van der Linde, A. (2002). Bayesian measures of model complexity and fit (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Statistical Methodology)*, *64*, 583-639.
- Taylor St.C. (1985) Use of genetic size-scaling in evaluation of animal growth. *Journal of Animal Science*, *61*, 118-143.

Table 1

Average of the score for each trait of the sensory analysis

	Juiciness	Hardness	Fibrousness	Flourness	
Average	1.10	2.56	1.50	2.05	
	IRF	AO	AF	LO	LF
Average	2.54	0.18	0.25	2.05	1.43

IRF: intensity of rabbit flavour, AO: aniseed odour, AF: aniseed flavour, LO: liver odour, LF: liver flavour.

Table 2

Differences in DIC between the model without sex or line effect and the complete model for the traits of sensory analysis.

	LINE	SEX
Juiciness	15.55	2.12
Hardness	28.09	3.28
Fibrousness	11.94	-1.83
Flourness	-5.24	-2.49
Intensity of rabbit flavour	-2.51	-0.38
Aniseed odour	-2.09	-1.35
Aniseed flavour	3.91	2.13
Liver odour	0.03	0.66
Liver flavour	3.66	-1.50

Table 3

Features of the marginal posterior distributions of the ratios between rabbit line effects for juiciness and texture characteristics of rabbit meat.

		Juiciness	Hardness	Fibrousness	Flourness
A/V	Median	1.15	0.87	0.83	0.96
	P>1	1.00	0.00	0.00	0.16
	HPD _{95%}	1.05,1.27	0.81,0.92	0.76,0.91	0.87,1.04
	K ₁	1.25	0.91	0.90	1.03
	K ₂	1.07	0.82	0.77	0.89
A/R	Median	0.94	1.03	0.97	0.99
	P>1	0.09	0.77	0.29	0.48
	HPD _{95%}	0.87,1.03	0.96,1.10	0.88,1.09	0.91,1.09
	k ₁	1.01	1.09	1.06	1.08
	k ₂	0.88	0.97	0.89	0.92
V/R	Median	0.82	1.18	1.17	1.04
	P>1	0.00	1.00	1.00	0.82
	HPD _{95%}	0.74,0.89	1.11,1.26	1.05,1.28	0.95,1.14
	k ₁	0.88	1.25	1.27	1.13
	k ₂	0.75	1.12	1.08	0.97

HPD_{95%}: high posterior density interval with a 95% of probability. P>1: Probability of (A/V, A/R, V/R > 1). k₁: limit of the interval $(-\infty, k_1]$ containing a probability of 95%. k₂: limit of the interval $[k_2, +\infty)$ containing a probability of 95%.

Table 4.

Features of the marginal posterior distributions of the ratios between rabbit line effects for flavour characteristics of rabbit meat.

		IRF	AO	AF	LO	LF
A/V	Median	1.03	1.01	1.11	1.00	1.05
	P>1	0.91	0.56	0.85	0.51	0.89
	HPD	0.99,1.07	0.87,1.16	0.89,1.36	0.92,1.09	0.97,1.14
	k ₁	1.06	1.14	1.33	1.08	1.12
	k ₂	0.99	0.90	0.94	0.93	0.98
A/R	Median	1.01	1.01	1.19	1.03	0.96
	P>1	0.74	0.56	0.94	0.73	0.17
	HPD	0.97,1.05	0.87,1.16	0.93,1.46	0.94,1.12	0.89,1.04
	k ₁	1.05	1.14	1.44	1.11	1.03
	k ₂	0.98	0.90	0.99	0.96	0.90
V/R	Median	1.01	1.00	1.07	1.03	0.92
	P>1	0.74	0.51	0.71	0.72	0.02
	HPD	0.97,1.05	0.86,1.15	0.83,1.34	0.93,1.12	0.85,0.99
	k ₁	1.05	1.13	0.88	1.11	0.98
	k ₂	0.98	0.89	1.30	0.95	0.86

IRF: intensity of rabbit flavour, AO: aniseed odour, AF: aniseed flavour, LO: liver odour, LF: liver flavour. HPD_{95%}: high posterior density interval with a 95% of probability. P>1: Probability of (A/V, A/R, V/R > 1). k₁: limit of the interval $(-\infty, k_1]$ containing a probability of 95%. k₂: limit of the interval $[k_2, +\infty)$ containing a probability of 95%.

Table 5

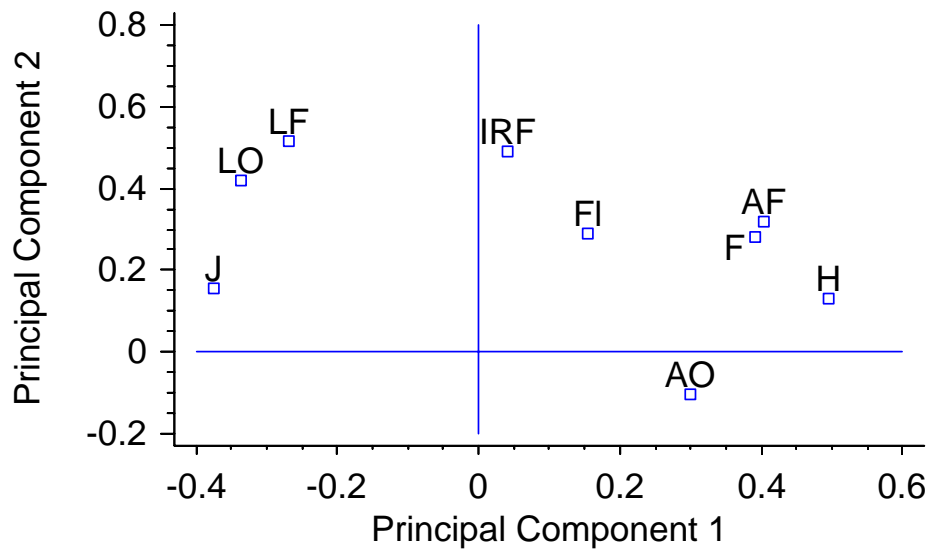
Coefficients of correlation between traits of the sensory analysis

	J	H	F	Fl	IRF	AO	AF	LO	LF
J	1	-0.41	-0.02	-0.12	0.09	-0.06	0.04	0.22	0.13
H		1	0.40	0.08	-0.01	0.11	0.21	-0.02	-0.01
F			1	0.12	0.11	0.02	0.31	0.01	0.00
Fl				1	0.14	-0.12	0.19	-0.02	0.17
IRF					1	0.05	0.34	0.18	0.29
AO						1	0.25	-0.16	-0.20
AF							1	-0.09	-0.01
LO								1	0.49
LF									1

J: juiciness, H: hardness, F: fibrousness, Fl: flourness, IRF: intensity of rabbit flavour, AO: aniseed odour, AF: aniseed flavour, LO: liver odour, LF: liver flavour.

Figure 1

Projection of the variables in the plane defined by the two principal components. J: juiciness, H: hardness, F: fibrousness, FI: flouriness, IRF: intensity of rabbit flavour, AO: aniseed odour, AF: aniseed flavour, LO: liver odour, LF: liver flavour.



6. DISCUSIÓN GENERAL

En la producción de carne de conejo intervienen tres líneas, de las cuales dos están seleccionadas por tamaño de camada para producir la hembra comercial y una se selecciona por velocidad de crecimiento para producir el macho comercial. La posibilidad de comparar líneas seleccionadas por distintos objetivos facilita encontrar diferencias entre ellas de origen genético que son más difíciles de encontrar cuando se analizan resultados dentro de una sola línea. Las diferencias entre líneas pueden ser indicadoras de diferencias genéticas; este es un primer paso para estudiar posteriormente si esas diferencias se deben al concurso de muchos genes de efecto pequeño, de genes mayores o de interacciones entre genes. En nuestras líneas hemos encontrado diferencias tanto en caracteres relativos a la calidad de la canal como a la calidad de la carne.

La comparación entre líneas debe realizarse en el mismo punto de madurez para evitar confundir diferencias entre líneas con diferencias debidas a distintas edades fisiológicas de los animales cuando se hace la comparación. Por ejemplo, si se comparan las líneas al mismo peso comercial, las líneas estarían en un estado fisiológico (en un grado de madurez) diferente y las conclusiones que se atribuirían a las diferencias genéticas entre líneas serían en realidad debidas a los distintos grados de madurez en las que eran medidas. La comparación a la misma edad se aproxima mejor a la comparación en el mismo grado de madurez, y así han sido realizadas las comparaciones en nuestro experimento.

Las diferencias encontradas en calidad de canal son a veces favorables a la línea seleccionada por velocidad de crecimiento (p. ej., mejor ratio carne/hueso o porcentaje de lomo) y a veces desfavorable (p. ej. peor rendimiento a la canal). El mercado del conejo está evolucionando, y aunque antes las canales sólo se vendían enteras y a los ganaderos se les pagaba exclusivamente por el peso vivo del animal, en la actualidad ya es frecuente encontrar en el mercado canales troceadas y partes caras o baratas de la canal vendidas separadamente. También es frecuente el que los mataderos tengan en cuenta el rendimiento de la canal a la hora de establecer los pagos, por lo que estas diferencias entre líneas se están volviendo económicamente relevantes. Otro aspecto

relevante en otras especies es el engrasamiento, pero en el caso del conejo no es por el momento un aspecto preocupante porque el conejo presenta una canal mucho más magra que la del vacuno, porcino o incluso que la de las aves.

Se han encontrado algunas diferencias entre líneas en calidad de carne. No hemos encontrado diferencias relevantes en pH último o en color. Encontramos diferencias en terneza cuando examinamos los indicadores de terneza por varias vías. Hemos encontrado diferencias entre líneas para las medidas de terneza proveniente de los análisis físicos de textura hechos con el W-B y TPA. Hemos encontrado también diferencias entre líneas en actividad proteolítica, y este es el primer trabajo de comparación de líneas realizado en conejo acerca de estas enzimas. También hemos encontrado diferencias entre líneas en colágeno y colágeno soluble. El colágeno está relacionado también con la terneza de la carne, y en el caso del conejo es notorio el alto porcentaje de colágeno soluble que presenta en comparación con otras especies ganaderas. Un jurado de catadores encontró también diferencias entre líneas en parámetros relacionados con la terneza, y poca o ninguna diferencia en parámetros relacionados con el flavor de la carne. Se abre un campo de investigación, sugestivo para realizar una investigación más detallada sobre la determinación genética de estas diferencias en terneza encontradas entre líneas.

Finalmente, el uso de técnicas bayesianas de análisis de datos ha facilitado la interpretación de los resultados permitiendo por un lado discutir sobre probabilidades, que es una forma natural de expresar la incertidumbre en torno a los resultados, y por otro permitiendo analizar ratios en lugar de diferencias entre líneas, lo que facilita la interpretación de los resultados cuando no es evidente qué diferencias son las relevantes para la discusión. El uso de técnicas MCMC ha facilitado el análisis bayesiano, que antes de la reciente aparición de estas técnicas era casi inabordable.

7. CONCLUSIONES

Conclusiones relativas a la calidad de la canal

1. Hay diferencias relevantes entre líneas en rendimiento a la canal, siendo la línea R, seleccionada por velocidad de crecimiento, la que presenta peor rendimiento.
2. Las diferencias entre líneas en luminosidad de la canal son irrelevantes, pero diferencias algo superiores en a^* y b^* fueron encontradas para el color de la canal en el lomo, presentando menores valores la línea R.
3. Se encontraron pequeñas diferencias entre líneas en proporción de cortes caros de la canal, pero estas fueron a veces superiores en la línea R (porcentaje de lomo) o a las líneas A y V (parte trasera), seleccionadas por tamaño de camada.
4. Hay diferencias favorables a la línea R en ratio músculo/hueso de la pierna posterior, que esta altamente relacionado con el de la canal completa.
5. Hay diferencias relevantes en engrasamiento a favor de las líneas A y V (menos engrasadas), pero dado el escaso engrasamiento de las canales del conejo, esto no representa, de momento, un factor preocupante.

Conclusiones relativas a la calidad de la carne

6. Se encontraron pequeñas diferencias en pH, siendo la línea R la que presentaba un pH último mayor.
7. No se encontraron diferencias relevante sen capacidad de retención de agua ni en pérdidas por cocinado entre líneas.
8. No se encontraron diferencias entre líneas para actividad de los enzimas metabólicos aldolasa ni para ICDH (isocitrato deshidrogenasa).

9. Se encontraron diferencias en actividad de enzimas proteolíticos entre líneas. La línea R mostró una actividad de catepsina B y B+L superior a la de las líneas A y V, y a su vez, la línea A mayor actividad de catepsina B que la línea V. Por otra parte, la actividad de captesina H fue mayor en la línea A.
10. La línea R tuvo un menor contenido en colágeno que las A y V.
11. Se encontraron diferencias entre líneas en las propiedades de textura medidas mediante W-B (Warner Bratzler) y TPA (análisis de perfil de textura). El test W-B mostró diferencias entre líneas en la fuerza de corte y el trabajo total. En el TPA se encontraron diferencias entre líneas en cohesividad, elasticidad y masticabilidad. La línea V obtuvo peores resultados en textura de la carne que las A y R.
12. Se encontraron diferencias entre líneas en el análisis sensorial para caracteres relacionados con la ternura, aunque no se encontraron diferencias, o estas fueron muy pequeñas, para otros caracteres relacionados con el flavor. La línea V fue juzgada más dura, más fibrosa y menos jugosa que las líneas A y R.

En conjunto, parece haber variabilidad genética entre líneas en caracteres importantes relativos a la calidad de la canal. Esta variabilidad no se debe al distinto grado de madurez a un mismo peso entre las líneas, porque estas fueron medidas aproximadamente en el mismo grado de madurez, por lo que debe concluirse que son diferencias genéticas entre ellas, lo que llama la atención sobre los programas genéticos que en la actualidad se realizan, y abre perspectivas sobre futuros análisis más detallados de esta variabilidad. Hay también diferencias en algunos caracteres relacionados con la calidad de la carne, particularmente la ternura. Los diferentes parámetros estudiados indican que la carne de los conejos de la línea R, seleccionada por crecimiento, es más tierna que los de la línea V y A.