



**UNIVERSITAT DE LLEIDA
DEPARTAMENT DE PRODUCCIÓ ANIMAL**

TESIS DOCTORAL

**REPERCUSIÓ DEL DESTETE PRECOZ Y
LA SUPLEMENTACIÓ SOBRE LAS
PAUTAS DE CRECIMIENTO Y
DESARROLLO DE LOS TERNEROS**



**MIREIA BLANCO ALIBÉS
LLEIDA, Septiembre 2007**

ISABEL CASASÚS PUEYO, Doctora en Veterinaria e Investigadora contratada del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria del Gobierno de Aragón y DANIEL VILLALBA MATA, Doctor Ingeniero Agrónomo y Profesor Titular en el Departament de Producció Animal de la Universitat de Lleida

CERTIFICAN que la presente memoria: “REPERCUSIÓN DEL DESTETE PRECOZ Y LA SUPLEMENTACIÓN SOBRE LAS PAUTAS DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LOS TERNEROS”, elaborada por MIREIA BLANCO ALIBÉS, ha sido realizada bajo su dirección y reúne las condiciones exigidas para optar al grado de Doctor Ingeniero Agrónomo por la Universitat de Lleida

Lleida, a 15 de septiembre de 2007

El doctorando,

Los directores de Tesis,

Fdo. Mireia Blanco Alibés

Fdo. Isabel Casasús Pueyo

Fdo. Daniel Villalba Mata

Quisiera expresar mi agradecimiento a las instituciones y a las muchas personas que han contribuido de una manera u otra a la realización de esta tesis.

Al CITA - Gobierno de Aragón, en cuyas instalaciones se ha realizado este trabajo. Y al INIA, por la concesión de la beca predoctoral, que ha estado enmarcada en los proyectos INIA RTA 02-086-C2-2 y MCyT AGL 2002-00027

A Isabel Casasús, porque sin tu ayuda, dirección y supervisión de todo el trabajo, habría sido imposible realizar esta tesis. Porque siempre me he sentido apoyada y respaldada, pero lo mejor ha sido tu trato personal.

A Daniel Villalba, por tu paciencia con mis dudas estadísticas. Tus consejos a la hora de enfrentarme a la escritura de la tesis han sido indispensables para que se llegara a su finalización.

A Albi, por demostrarme tu confianza en mí y porque es un placer trabajar a tu lado. Y a Marga, por darme la posibilidad de aprender a tu lado. Vuestros ánimos han sido vitales.

A Jorge, Alberto, Pere, Guillermo y Ricardo, por vuestra ayuda para analizar los resultados obtenidos en cada una de las disciplinas que domináis. Y al resto de la Unidad de Producción animal, ya que siempre he recibido ayuda cuando la he necesitado.

A todo el personal laboral, pero especialmente a José Manuel, Javier, Miguel Ángel, Pepe Jaime, Ramiro, Jaime, Enrique, Juan Ángel, y Fidel, por ayudarme y enseñarme a trabajar con los animales, haciendo llevadero incluso en las peores condiciones.

A todas las personas que me han ayudado en el laboratorio. En los diferentes laboratorios del departamento, Tere, Angelines, Piluca y Ana. También a Clara, José Luis y Fernando. En el Departamento de Patología Animal de la Universidad de Zaragoza, a Gema. En el Departament de Producció Animal de la Universitat de Lleida, a Anna y Marc. En el laboratorio del Institute of Animal Science, Physiology and Hygiene Unit, University of Bonn, Birgit Mielenz y Helga Sauerwein, por toda la ayuda recibida.

A Pili, porque sin tu alegría estos cuatro años no hubieran sido lo mismo. A Carlota, porque me trataste como a una amiga desde que llegué. A Chus, por recordarme que se puede sonreír siempre. A Javi, por lo enriquecedoras que son nuestras eternas "discusiones". A Bea, por ser positiva y luchadora siempre. A Ana, compañera en los viajes diarios. A mis compañeros de despacho, especialmente a Sara y al resto de los que me habéis acompañado.

A Pasky, por tu paciencia y apoyo incondicional. A Álvaro y Carmen, por enseñarme a ser responsable y exigente en mi trabajo. Y por apoyarme siempre. A Xavier, por tus sabios y sensatos consejos, y a Nazari, por su parte de responsabilidad en mi "pasión" por las vacas. A mi hermana Olga, por ser como eres. A Carmen y Rubén.

A Arrate, Arantxa, Teresa y Silvia, por estar siempre y por aguantarme las ausencias, animándome en los momentos difíciles. A Emma, por tu amistad y valentía.

A los que en estos años se han ido, dejando su huella en mi corazón.

En la presente Tesis se han analizado los efectos de la edad al destete y la suplementación de concentrado al ternero durante la lactación sobre los rendimientos técnico-económicos de terneros en condiciones de producción mediterráneas. Se estudiaron las pautas de crecimiento y desarrollo de los terneros durante la lactación y el cebo intensivo, y las características de la canal y de la carne. También se evaluó la respuesta fisiológica al destete y la reactividad frente a humanos, y, por último, se analizaron los resultados económicos derivados de las diferentes estrategias de manejo.

En el Ensayo 1 se analizó el efecto del destete precoz (90d) o tradicional (180d) en terneros de raza Parda de Montaña (PM) nacidos en primavera. Entre destetes (90-180d), los terneros destetados precozmente presentaron mayores ganancias de peso en cebo que los destetados tradicionalmente, que pastaron junto a sus madres en puertos de montaña. Estos, sin embargo, experimentaron un crecimiento compensador desde 180d al sacrificio, alcanzando el mismo peso al sacrificio a la misma edad. El destete precoz mejoró el rendimiento canal, aunque motivó un mayor consumo de pienso total, debido a la mayor duración de la fase de cebo intensivo, y por lo tanto mayores costes de alimentación que en los terneros destetados tradicionalmente.

En el Ensayo 2 se evaluó el efecto de la edad al destete (90 vs. 150 d) y la suplementación del ternero durante la lactación (con vs. sin) en terneros de raza PM nacidos en otoño. La suplementación afectó a las ganancias de peso previas al destete en los terneros destetados tradicionalmente, pero no a las de los destetados precozmente. El rendimiento en la finalización (150d-sacrificio) no se vio afectado por ninguno de los efectos evaluados. Sin embargo, el destete precoz mejoró el rendimiento canal, mientras que la suplementación en los terneros destetados tradicionalmente redujo la duración de la fase de finalización y mejoró los resultados económicos. Los terneros destetados tradicionalmente sin suplementación generaron el margen económico más bajo.

En el Ensayo 3 se estudió el efecto de la edad al destete (90 vs. 150 d) y la raza (PM y Pirenaica, Pi) en terneros nacidos en otoño. El destete precoz mejoró la ganancia de peso en el periodo entre destetes y la conformación de la canal, aunque no afectó al margen económico. Con respecto al efecto de la raza, los terneros de raza PM presentaron mayor peso a d 90 y 150 que los de raza Pi. Durante la fase de finalización, los rendimientos globales fueron similares, pero al sacrificio la raza Pi presentó una calidad de la canal superior, que generó un mayor margen económico que la raza PM.

En el Ensayo 4 se estudiaron en los mismos terneros del Ensayo 3 la respuesta fisiológica al estrés y la reactividad frente a humanos. Mientras que la edad al destete no tuvo efectos importantes en la respuesta al estrés, la raza sí influyó, al ser los terneros de raza Pi más reactivos al estrés producido por el destete y también a la presencia humana.

Los resultados obtenidos en este trabajo proporcionan las bases técnicas para la toma de decisiones en las explotaciones de vacuno de carne, con el objeto de adaptarse mejor a situaciones cambiantes de mercado.

Summary

The objective of this thesis was to assess the effect of early weaning and concentrate feeding during the pre-weaning period on calf performance during lactation and fattening in Mediterranean conditions. Calf growth, carcass and meat quality, economic performance and the physiological response to weaning and fear to humans were studied.

In Experiment 1, Parda de Montaña (PM) spring-born calves were either early (EW, 90 d of age) or normal weaned (NW, 180 d of age). From day 90 to 180, NW calves were turned out with their dams to high mountain pastures. Age at weaning modified growth paths, because EW calves gained faster between weaning dates, but during the finishing phase NW calves showed compensatory growth, and reached similar weight at slaughter at the same age. On the other hand, early weaning improved the dressing percentage, although it increased the length of the feedlot phase and total concentrate intake, with a concomitant increase of feeding costs.

In Experiment 2, the effect of age at weaning (EW, d90, vs. TW, 150 d) and pre-weaning concentrate feeding (supplemented vs. non supplemented) was evaluated in PM autumn-born calves. Pre-weaning concentrate feeding increased weight gains of TW calves during lactation but not those of EW calves. Overall performance in the finishing phase (150-slaughter) was not affected by any effects. However, early weaning increased the dressing percentage whereas pre-weaning concentrate feeding shortened the length of the finishing phase and increased the economic margin. Non-supplemented, TW calves had the lowest economic margin.

In Experiment 3, the effect of age at weaning and breed were studied in autumn-born PM and Pirenaica (Pi) calves, that were either early (d 90) or traditionally weaned (d 150). Age at weaning improved weight gains between weaning dates, and carcass conformation score, but it did not affect the economic margin. Concerning the breed effect, PM calves were heavier at 90 and 150 d. However, overall performance in the finishing period did not differ between breeds. On the other hand, carcass quality and some meat characteristics were affected by the breed, with Pi calves presenting better carcass quality, which led to a higher economic margin.

In Experiment 4, PM and Pi calves involved in Experiment 3 were used to study the stress response of calves to weaning and their reactions to humans. Age at weaning had no major effects on the stress response to weaning or fear to humans. On the other hand, Pi calves were more reactive than PM calves to the stress of weaning and human presence.

The technical and economical results obtained with the different management strategies (age at weaning and pre-weaning concentrate feeding) tested in this thesis can provide technical basis to help the beef cattle farmer in decision-making, in order to adapt farm management to changing conditions.

Aquesta tesi es va plantejar per obtenir informació sobre l'efecte de l'edat al deslletament i la suplementació durant la lactació, sobre els rendiments tècnic-econòmics de vedells en condicions de producció mediterrànies. Es van estudiar, les pautes de creixement i desenvolupament dels vedells durant la lactació y l'engreix, les característiques de la canal i la carn, els resultats econòmics, la resposta fisiològica al deslletament i la reactividad enfront d'humans.

L'Assaig 1 es va dur a terme amb vedells de raça PM nascuts a la primavera, deslletats amb 90 (precoç) o 180 dies (tradicional), aquests últims pastaren en ports de muntanya durant l'estiu (90 a 180 d). L'edat al deslletament va modificar les pautes de creixement, ja que entre deslletaments, els vedells deslletats precoçment van presentar un guany de pes més alt mentre que des de 180 d al sacrifici els vedells deslletats tradicionalment van mostrar creixement compensador, arribant al mateix pes al sacrifici. El deslletament precoç va millorar el rendiment canal però va allargar la durada del engreix i va incrementar la ingestió total de pinso i per tant, els costos d'alimentació.

En l'Assaig 2, es va avaluar l'efecte de la suplementació del vedell durant la lactació (amb vs. sense) en vedells nascuts a la tardor, de raça PM, deslletats precoç (90 d) i tradicionalment (150 d). La suplementació va millorar el guany de pes del vedells deslletats tradicionalment durant la lactació però no el dels vedells deslletats precoçment. El rendiment en la finalització (d 150-sacrifici) no es va veure afectat per cap dels efectes. El deslletament precoç va millorar el rendiment canal. La suplementació en els vedells deslletats tradicionalment va reduir la durada del engreix i va millorar el marge economic. Els vedells deslletats tradicionalment i sense suplementació van ser els quals menor marge econòmic van obtenir.

En l'Assaig 3, es van utilitzar vedells deslletats precoç i tradicionalment de les races PM i Pi nascuts a la tardor. L'edat al deslletament únicament va modificar el guany de pes en el període entre deslletaments. No va modificar el marge econòmic. Pel que fa a l'efecte de la raça, els vedells de raça PM van presentar un major pes al dia 90 i 150 que els de raça Pi. Durant la finalització, els rendiments van ser similars. No obstant això, la raça va afectar a les característiques de la canal, sent millors les de la raça Pi, i a algunes característiques de la carn, i al marge econòmic, que va ser superior per a la raça Pi.

En l'Assaig 4, es va estudiar en els mateixos vedells de l'Assaig 3 la resposta fisiològica a l'estrès i la por enfront d'humans. Mentre que l'edat al deslletament no va tenir efectes importants en la resposta a l'estrès, la raça si va influir al ser els vedells de raça Pi més reactius a l'estrès produït pel deslletament i a la presència humana.

Aquests resultats dels efectes dels diferents manejos del vedell (edat al deslletament i suplementació) proporcionen les bases tècniques per a la presa de decisions en l'explotació de boví de carn, per a adaptar-se a situacions canviant de mercat.

Índices

INDICE DE MATERIAS**Antecedentes y Objetivos**

1. Sistemas de producción de vacuno de cría en zonas de montaña	1
2. Efecto de la edad al destete sobre los rendimientos del rebaño	3
2.1. <i>Efecto de la edad al destete sobre los rendimientos de las vacas</i>	3
2.2. <i>Efecto de la edad al destete sobre los rendimientos de los terneros</i>	5
2.3. <i>Efecto de la edad al destete sobre la calidad de la canal y la carne</i>	6
2.4. <i>Efecto de la edad al destete sobre el estrés producido por el destete y el miedo frente a humanos</i>	7
3. Efecto de la suplementación a los terneros en lactación sobre los rendimientos del rebaño.....	9
3.1. <i>Efecto de la suplementación a los terneros en lactación sobre los rendimientos de las vacas</i>	9
3.2. <i>Efecto de la suplementación en lactación a las hembras destinadas a la reposición sobre sus rendimientos</i>	10
3.3. <i>Efecto de la suplementación en la lactación a los terneros destinados al cebo sobre sus rendimientos</i>	11
3.4. <i>Efecto de la suplementación durante la lactación sobre las características de la canal y la carne</i>	13
4. Efecto de la raza sobre los rendimientos del rebaño	14
4.1. <i>Efecto de la raza sobre los rendimientos de las vacas y terneros</i>	14
4.2. <i>Efecto de la raza sobre la calidad de la canal y la carne</i>	15
5. Regulación hormonal del crecimiento y desarrollo de los terneros.....	16
5.1. <i>Papel del IGF-I en la regulación del crecimiento en vacuno</i>	16
5.2. <i>Regulación de la deposición de tejido graso por la leptina en vacuno</i>	19
Objetivos.....	22

Material y Métodos generales

1. Finca experimental	23
2. Superficies forrajeras.....	24

3. Animales	24
4. Manejo general del rebaño	25
5. Ensayos de la tesis.....	27
<i>Ensayo 1. Efecto del destete precoz sobre los rendimientos, calidad de la canal y la carne de los terneros nacidos en primavera en zonas de montaña mediterránea.....</i>	<i>28</i>
<i>Ensayo 2. Efecto de la edad al destete y la suplementación del ternero durante la lactación sobre los rendimientos, calidad de la canal y la carne de terneros nacidos en otoño.....</i>	<i>30</i>
<i>Ensayo 3. Efecto de la edad al destete y raza sobre los rendimientos, calidad de canal y carne de los terneros nacidos en otoño.....</i>	<i>31</i>
<i>Ensayo 4. Efecto de la edad al destete y la raza sobre la respuesta fisiológica de estrés y el miedo frente a humanos de terneros nacidos en otoño</i>	<i>32</i>
6. Controles y medidas realizados en los distintos ensayos.....	32
6.1. Rendimientos.....	32
6.2. Parámetros séricos relacionados con la deposición de tejido magro y graso.....	33
6.3. Calidad de la canal.....	34
6.4. Calidad de la carne.....	34
6.5. Estudio económico	35
6.6. Respuesta al estrés.....	35
6.7. Análisis estadístico de los datos	36

Ensayo 1. Efecto del destete precoz sobre los rendimientos, calidad de la canal y la carne de terneros nacidos en primavera en zonas de montaña mediterránea

Abstract.....	37
1. Introduction	37
2. Material and Methods	38
2.1. <i>Animals and management.....</i>	<i>38</i>
2.2. <i>Measurements.....</i>	<i>39</i>

2.3. Slaughter and sampling procedures	40
2.4. Statistical analysis	41
3. Results and discussion	41
3.1. Animal performance	41
3.2. Carcass and meat quality	45
4. Conclusion	48

Ensayo 2. Efecto de la edad al destete y la suplementación del ternero durante la lactación sobre los rendimientos, calidad de la canal y la carne de terneros nacidos en otoño

Abstract	49
1. Introduction	49
2. Material and Methods	50
2.1. Animals and management	50
2.2. Measurements	52
2.3. Blood sampling and hormone analysis	52
2.4. Slaughter and sampling procedures	53
2.5. Economic analysis	53
2.6. Statistical Analysis	54
3. Results	54
3.1. Calf Performance	54
3.2. Serum IGF-I and leptin concentrations	57
3.3. Carcass and meat quality	58
3.4. Economic performance	60
4. Discussion	61
4.1. Calf Performance	61
4.2. Serum IGF-I and leptin concentrations	63
4.3. Carcass and meat quality	63
4.4. Economic performance	64

5. Implications..... 65

Ensayo 3. Efecto de la edad al destete y la raza sobre los rendimientos, calidad de la canal y la carne de terneros nacidos en otoño

Abstract..... 67

1. Introduction..... 67

2. Material and Methods 68

 2.1. *Animals and Management*..... 68

 2.2. *Measurements*..... 70

 2.3. *Blood Sampling and Hormone Analyses*..... 70

 2.4. *Slaughter and Sampling Procedures*..... 71

 2.5. *Economic Analysis* 71

 2.6. *Statistical Analysis*..... 72

3. Results and Discussion 72

 3.1. *Effect of Age at Weaning*..... 72

 3.1.1. Calf Performance 72

 3.1.2. IGF-I and leptin concentrations..... 74

 3.1.3. Carcass and meat quality 76

 3.1.4. Economic performance..... 78

 3.2. *Effect of breed* 79

 3.2.1. Calf Performance 79

 3.2.2. IGF-I and leptin concentrations..... 80

 3.2.3. Carcass and meat quality 81

 3.2.4. Economic performance..... 82

4. Conclusion 82

Ensayo 4. Efecto de la edad al destete y la raza sobre la respuesta al estrés y miedo frente a humanos de terneros nacidos en otoño

Abstract..... 85

1. Introduction..... 85

2. Material and Methods	86
2.1. <i>Animal care, handling and diet</i>	86
2.2. <i>Sample collection</i>	87
2.3. <i>Cortisol determination</i>	87
2.4. <i>Fibrinogen determination</i>	87
2.5. <i>Haematology</i>	88
2.6. <i>Flight speed test</i>	88
2.7. <i>Statistical analysis</i>	88
3. Results	89
3.1. <i>Cortisol concentration</i>	89
3.2. <i>Fibrinogen concentration</i>	90
3.3. <i>Leukocyte population</i>	90
3.4. <i>Erythrocyte population</i>	90
3.5. <i>Flight speed test</i>	92
3.6. <i>Feedlot performance</i>	93
4. Discussion	93
4.1. <i>Cortisol concentration</i>	94
4.2. <i>Fibrinogen concentration</i>	95
4.3. <i>Leukocyte population</i>	96
4.4. <i>Erythrocyte population</i>	97
4.5. <i>Flight speed test</i>	97
4.6. <i>Feedlot performance</i>	98
Consideraciones finales	99
Conclusiones	107
Bibliografía	109

INDICE DE TABLAS

Material y Métodos Generales

Tabla 1. Composición de los piensos administrados a los terneros en los distintos Ensayos	29
---	----

Ensayo 1. Efecto del destete precoz sobre los rendimientos, calidad de la canal y la carne de terneros nacidos en primavera en zonas de montaña mediterránea

Table 1. Performance of Early (EW) and Normal Weaned (NW) calves throughout the production cycle	42
Table 2. Carcass characteristics of Early (EW) and Normal Weaned (NW) calves	45
Table 3. Instrumental characteristics of <i>Longissimus thoracis</i> after 7 days of aging of Early (EW) and Normal Weaned (NW) calves.....	46
Table 4. <i>Longissimus thoracis</i> chemical composition (%fresh matter) of Early (EW) and Normal Weaned (NW) calves	47
Table 5. <i>Longissimus thoracis</i> fatty acid composition (%) of Early (EW) and Normal Weaned (NW) calves	48

Ensayo 2. Efecto de la edad al destete y la suplementación del ternero durante la lactación sobre los rendimientos, calidad de la canal y la carne de terneros nacidos en otoño

Table 1. Composition of the diets fed to the calves throughout the experiment	51
Table 2. Performance from birth to slaughter according to management strategy	55
Table 3. Intake and feed conversion during the finishing phase (d 150 to slaughter) according to management strategy	56
Table 4. Carcass quality according to management strategy	59
Table 5. Meat physical characteristics according to management strategy.....	59
Table 6. Meat total SFA, MUFA, PUFA/SFA ratio according to management strategy	59
Table 7. Economic performance according to management strategy.....	60

Ensayo 3. Efecto de la edad al destete y la raza sobre los rendimientos, calidad de la canal y la carne de terneros nacidos en otoño

Table 1. Composition of the diets used in the experiment	69
--	----

Table 2. Calf performance from birth to 150 d in early weaned and traditionally weaned autumn-born Parda de Montaña and Pirenaica bull calves.....	73
Table 3. Calf performance from 150 d to slaughter in early weaned and traditionally weaned autumn-born Parda de Montaña and Pirenaica bull calves	74
Table 4. Carcass characteristics in early weaned and traditionally weaned autumn-born Parda de Montaña and Pirenaica bull calves.....	77
Table 5. Meat pH, instrumental colour, and texture in early weaned and traditionally weaned autumn-born Parda de Montaña and Pirenaica bull calves	77
Table 6. Total SFA, MUFA, PUFA, and SFA/PUFA ratio in early weaned and traditionally weaned autumn-born Parda de Montaña and Pirenaica bull calves	78
Table 7. Economic performance in early weaned and traditionally weaned autumn-born Parda de Montaña and Pirenaica bull calves.....	79

Ensayo 4. Efecto de la edad al destete y la raza sobre la respuesta al estrés y miedo frente a humanos de terneros nacidos en otoño

Table 1. Effect of sampling time, age at weaning (W) and breed (B) on plasma cortisol and fibrinogen concentrations around weaning	89
Table 2. Effect of sampling time, age at weaning (W) and breed (B) on measures of the leukocyte population around weaning	91
Table 3. Effect of sampling time, age at weaning (W) and breed (B) on measures of the erythrocyte population around weaning	92
Table 4. Effect of age at weaning (W) and breed (B) on flight speed test results performed at 90 and 180 d postweaning.....	93
Table 5. Effect of age at weaning (W) and breed (B) on feedlot performance.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Antecedentes

Figura 1. Representación simplificada del eje somatotropo..... 17

Figura 2. Regulación de la secreción de leptina en el ganado vacuno..... 20

Material y Métodos Generales

Figura 3. Localización geográfica de la estación experimental “La Garcipollera”..... 23

Figura 4. Diagrama ombrotérmico de la estación de Bescós de la Garcipollera correspondiente al periodo 1999-2006..... 23

Figura 5. Manejo del rebaño con parto en otoño 26

Figura 6. Manejo del rebaño con parto en primavera 26

Figura 7. Esquema de los ensayos realizados en la tesis 27

Ensayo 1. Efecto del destete precoz sobre los rendimientos, calidad de la canal y la carne de terneros nacidos en primavera en zonas de montaña mediterránea

Figure 1. Weight of Early (EW) and Normal Weaned (NW) calves throughout the production cycle..... 42

Figure 2. Monthly gains of Early (EW) and Normal Weaned (NW) calves during the finishing phase (180 d - slaughter). 43

Ensayo 2. Efecto de la edad al destete y la suplementación del ternero durante la lactación sobre los rendimientos, calidad de la canal y la carne de terneros nacidos en otoño

Figure 1a. Effect of age at weaning on monthly feed intake during the finishing phase (150 d to slaughter)..... 56

Figure 1b. Effect of pre-weaning concentrate feeding on monthly feed intake during the finishing phase (150 d to slaughter) 57

Figure 2. Effect of age at weaning and pre-weaning concentrate feeding on serum IGF-I and leptin concentrations 58

Ensayo 3. Efecto de la edad al destete y la raza sobre los rendimientos, calidad de la canal y la carne de terneros nacidos en otoño

Figure 1. Serum IGF-I and leptin concentrations throughout the production cycle, and age at weaning (left, early weaned at 90 d and traditionally weaned at 150 d) and breed (right, Parda de Montaña and Pirenaica) 75

Ensayo 4. Efecto de la edad al destete y la raza sobre la respuesta al estrés y miedo frente a humanos de terneros nacidos en otoño

Figure 1. Effect of age at weaning (EW, Early weaned at 90 d vs. TW, Traditionally weaned at 150 d) and breed (PM, Parda de Montaña vs. Pi, Pirenaica) on N:L ratio..... 91

LISTA DE ABREVIATURAS

a*	Redness	IGFBPs	Proteínas transportadoras de los Factores de Crecimiento similares a la insulina
a.s.l.	above sea level	L*	Lightness
ADG	Average Daily Gain	LH	Hormona luteinizante
APP	Acute-Phase Proteins	ME	Metabolizable Energy
ARNm	Ácido Ribonucleico mensajero	MS	Materia Seca
B	Breed	MUFA	Monounsaturated Fatty Acids
b*	Yellowness	N:L ratio	Neutrophil:Lymphocyte ratio
BW	Body Weight	NDF	Neutral Detergente Fibre
ca.	<i>circa</i> (about)	ns	not significant
CC	Condición corporal	NS	nursing calves not offered a starter concentrate
cf.	confer	NW	Normal Weaning
CP	Crude Protein	<i>P</i>	Probabilidad de error
d	day(s)	p.e.	Por ejemplo
DM	Dry Matter	PAC	Política Agraria Común
DMI	Dry Matter Intake	PB	Proteína Bruta
DP	Dressing Percentage	Pi	Pirenaica
ECM	Energy Corrected Milk	PM	Parda de Montaña
EDTA	Ácido Etilendiaminetetraacético	PUFA	Polyunsaturated Fatty Acids
EFSA	Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria	r	coeficiente de correlación
EIA	enzima-inmunoanálisis	r.s.d.	residual standard deviation
EM	Energía Metabolizable	R ²	coeficiente de determinación
EW	Early Weaning	RBC	Red Blood Cell number
FA	Fatty Acids	RIA	Radioinmunoanálisis
FB	Fibra Bruta	R _s	Repeatability coefficient
G:F	Gain to Feed ratio	S	nursing calves offered a starter concentrate
GB	Grasa Bruta	SED	standard error of the difference
GH	Hormona de Crecimiento	s.e.	strandard error
GnRH	Hormona liberadora de gonadotropinas	s.e.m.	standard error of the mean
h	hour(s)	SFA	Saturated Fatty Acids
Hb	Hemoglobin	TMR	Total Mixed Ration
HCT	Hematocrit	TW	Traditional Weaning
Hh	Hypercholesterolemic and Hypocholesterolemic acids ratio	vs.	versus
HPA	Hypothalamic-Pituitary-Adrenal	W	Age at weaning
IGF-I	Factor de Crecimiento similar a la Insulina-I	WBC	White Blood Cell number
IGF-2	Factor de Crecimiento similar a la Insulina-2		

Antecedentes y objetivos

1. Sistemas de producción de vacuno de cría en zonas de montaña

Las áreas de montaña en Europa tienen una gran relevancia en distintos ámbitos, porque mantienen una gran diversidad ecológica, paisajística, social y cultural (García-Martínez *et al.*, 2006). La ganadería extensiva tiene un papel central en estas áreas (Revilla, 1987), y su multifuncionalidad queda reconocida por las actuales políticas agrarias (Revilla, 2002). En este sentido, la Agenda 2000 y la Reforma a Medio Plazo de la Política Agraria Comunitaria (PAC) de la Unión Europea consideran que la ganadería no sólo cumple una función productiva, con la que contribuye de forma importante a la economía de las zonas en que se practica, sino que destaca también su papel medioambiental y social, y su contribución al desarrollo rural (Laurent *et al.*, 2003).

En concreto, la ganadería basada en sistemas de producción de vacas nodrizas tiene una gran importancia en las áreas de montaña europeas (D'Hour *et al.*, 1998). Estos sistemas se basan en una estrategia de gestión anual que debe adaptar la oferta forrajera y la demanda alimenticia del rebaño, teniendo en cuenta unas funciones de seguridad que garanticen una cierta flexibilidad ante circunstancias no esperadas (Guérin *et al.*, 1994), e incluso ante coyunturas económicas cambiantes. La flexibilidad del manejo debe materializarse en tácticas o decisiones (subnutrición en distintos periodos, elección de fechas de partos, destete o estabulación) (Thériez *et al.*, 1994) para las que es fundamental conocer sus efectos en la productividad del rebaño.

En los sistemas extensivos de producción, las vacas nodrizas no suelen ser alimentadas según sus necesidades teóricas a lo largo de su ciclo productivo, sino que se alternan épocas de restricción alimenticia. Las restricciones pueden ser más o menos severas dependiendo de los componentes físicos del medio o de las decisiones de manejo del ganadero para alcanzar costes de producción determinados. Sin olvidar la importancia de otros componentes como la salud animal y la calidad de los productos, la continuidad de los sistemas de producción ganaderos se basa en la habilidad de los animales a adaptarse a restricciones nutricionales durante periodos más o menos largos (Blanc *et al.*, 2006), y en su capacidad de mantener sus rendimientos mientras hacen un uso eficiente de recursos forrajeros de calidad relativamente baja.

En este sentido, se han realizado múltiples trabajos sobre la respuesta productiva de los rebaños ante la oferta forrajera disponible en los diversos sistemas de explotación europeos (Russel y Broadbent, 1985; Petit *et al.*, 1995; D'Hour *et al.*, 1998), a partir de los cuales se han elaborado las recomendaciones de manejo en pastoreo e invernada para optimizar dicha productividad. Sin embargo, los estudios realizados en las condiciones productivas de montañas más secas del Sur de Europa, indican que dichas recomendaciones no pueden ser aplicadas de forma estricta en otras situaciones, por la diferente disponibilidad de hierba de calidad durante el periodo de pastoreo (Casasús, 1998). Por ello, las estrategias de manejo a escala anual tienen que redefinirse en

función de los recursos disponibles en cada sistema de producción, modulando las necesidades de los rebaños para que se adapten a la disponibilidad de alimentos.

Para el diseño de las alternativas de manejo más adecuadas en cada sistema de producción debe tenerse en cuenta que la ganadería forma parte de un sistema dinámico (Revilla, 2002). En este sentido, los sistemas ganaderos extensivos han sufrido notables cambios estructurales y técnicos en los últimos años para adaptarse a nuevas situaciones socio-económicas, influidas mayoritariamente por las políticas agrarias.

Un estudio de la evolución reciente de los sistemas de vacuno en los Pirineos Centrales aragoneses (García-Martínez *et al.*, 2006) ha constatado que en los últimos 15 años han desaparecido el 30% de las explotaciones de vacuno, aunque el censo total se ha mantenido o incrementado por el notable aumento del censo de vacas por explotación. El hecho de que la continuidad de las explotaciones de montaña se vea amenazada, especialmente la de aquéllas de menor dimensión (Baldock *et al.*, 1996), supone un grave riesgo para la sostenibilidad de los ecosistemas pastorales en los que se localizan, ya que la reducción de la presión de pastoreo origina cambios en la dinámica de la vegetación (Casasús *et al.*, 2007a) y en la composición del paisaje. Por el contrario, una adecuada gestión del pastoreo lo convierte en un instrumento económicamente eficiente para modular la fuerte dinámica de los pastos hacia la invasión arbustiva y conservar los recursos forrajeros, con lo que resulta clave para el desarrollo rural sostenible (Bernués *et al.*, 2005).

El citado análisis de las ganaderías de vacuno en el Pirineo oscense (García-Martínez *et al.*, 2006), ha detectado también un cambio en la orientación productiva de las explotaciones. Frente a la situación observada por Manrique *et al.* (1992), en que la mayoría de las explotaciones tenían orientación lechera y vendían los terneros al destete, en la actualidad el ordeño ha desaparecido casi por completo, y ha incrementado notablemente la importancia del cebo de los terneros, ya sea en las propias explotaciones o en cooperativas. Paralelamente se ha producido una extensificación de los sistemas de producción, con un incremento de las superficies de explotación y de la duración del periodo de pastoreo, y una reducción del aporte de concentrados a las vacas en establo. Estas dos últimas estrategias se encaminan a disminuir los costes de mantenimiento del rebaño de madres, que suponen la mayor parte del coste de producción de los terneros destetados (Ferrell y Jenkins, 1985).

En el marco de la optimización de los márgenes económicos de las explotaciones de vacas nodrizas, practiquen o no el cebo de los terneros, la reducción de los costes de alimentación de las vacas puede plantearse mediante dos opciones de manejo diferentes. En primer lugar, podría reducirse el nivel de alimentación recibido por los animales durante una invernada de duración convencional, con las consiguientes repercusiones sobre los rendimientos de vacas y terneros, de las que se dispone de abundante información en las condiciones de producción de la montaña pirenaica (Casasús *et al.*,

2001 a, b; Bernués *et al.*, 2001; Sanz *et al.*, 2004). En segundo lugar, se plantea la posibilidad de acortar la duración de la lactación mediante un destete precoz de los terneros, adelantando la fecha de salida al pasto de las vacas ya secas. Esta modificación en las pautas de manejo influirá sobre los rendimientos productivos y reproductivos de las vacas y los rendimientos de los terneros, y dicha influencia podrá estar a su vez modulada por otros factores de manejo, como la raza, la época de parto o la provisión de alimentos concentrados a los terneros durante la lactación. Los posibles efectos y sus mecanismos de actuación se describen a continuación.

2. Efecto de la edad al destete sobre los rendimientos del rebaño

2.1. Efecto de la edad al destete sobre los rendimientos de las vacas

El adelanto de la edad al destete se ha propuesto como alternativa para mejorar la adaptación de la oferta forrajera a la demanda nutricional del rebaño de vacas nodrizas en zonas de sequía o con problemas en la disponibilidad o calidad del forraje durante alguna época del año. Esto se fundamenta en que al destetar tempranamente los terneros, las necesidades de las vacas se ven reducidas, al desaparecer las de la lactación y quedar únicamente las de mantenimiento (Neville y McCormick, 1981). Así, ante una misma oferta nutritiva las vacas cuyos terneros han sido destetados precozmente tienen mayores ganancias de peso y condición corporal (CC), o pierden menos peso y CC, que las vacas que todavía están lactantes (Lusby *et al.*, 1981; Neville y McCormick, 1981; Basarab *et al.*, 1986; Makarechian *et al.*, 1988; Myers *et al.*, 1999a, c; Story *et al.*, 2000; Pordomingo, 2002; Blanco *et al.*, 2005b; Grings *et al.*, 2005; Schultz *et al.*, 2005; Galindo-González *et al.*, 2007). La magnitud de esta diferencia puede depender de la fase de la lactación durante el pastoreo. Así, en vacas con parto en junio que salen a pasto con máximas necesidades de lactación la diferencia es mayor que en vacas en fase de lactación más avanzada, con partos a finales de invierno o principios de primavera (Grings *et al.*, 2005). Por lo tanto, esta práctica está especialmente recomendada en vacas con un bajo estado de reservas corporales (McCall *et al.*, 1988) o en primíparas, cuyos rendimientos en pastoreo están más comprometidos si se suman las necesidades de crecimiento y lactación (Casasús *et al.*, 2002).

La persistencia de las diferencias surgidas en el periodo entre destetes depende de las posibilidades de las vacas destetadas tradicionalmente de recuperar sus reservas corporales tras el destete. Así, en algunos trabajos (Story *et al.*, 2000; Blanco *et al.*, 2005b) se afirma que las diferencias existentes entre manejos al destete se habían diluido en el siguiente parto, salvo en años de clima extremo (Makarechian *et al.*, 1988).

Desde el punto de vista reproductivo, el destete temprano de los terneros puede tener influencias positivas sobre los rendimientos de las vacas a través de dos vías diferentes. En primer lugar, el destete precoz puede facilitar una reactivación ovárica más o menos inmediata de las vacas, en parte por el ahorro energético que supone el fin de la

producción de leche y, en parte porque se elimina el estímulo negativo que la crianza ejerce sobre la liberación pulsátil de LH (hormona luteinizante) vía GnRH (hormona liberadora de gonadotropinas) (Williams, 1990). Sin embargo, existen discrepancias sobre la efectividad real de esta práctica, ya que la reactivación ovárica en vacas nodrizas se ve influida por distintos factores, de entre los que la CC al parto es el parámetro de mayor influencia (Osoro y Wright, 1992), mientras que otros aspectos como la nutrición postparto o la crianza del ternero se encuentran supeditados a ésta (Sanz *et al.*, 2004). Así, en diversos trabajos en que la CC era adecuada al parto no se observaron diferencias en el rendimiento reproductivo asociadas al momento de destete de los terneros (Short *et al.*, 1996; Story *et al.*, 2000; McCartney *et al.*, 2004; Casasús *et al.*, 2007b; Galindo-González *et al.*, 2007). Por el contrario, en condiciones nutricionales más restrictivas sí se observó una mejora la tasa de gestación en vacas destetadas precozmente (Myers *et al.* 1999a, c; Pordomingo, 2002). También se ha descrito un efecto beneficioso en las novillas (Bellows *et al.*, 1974; Lusby *et al.*, 1981; Bell *et al.*, 1998; Arthington y Kalmbacher, 2003; Galindo-González *et al.*, 2007) y en vacas con baja CC (Houghton *et al.*, 1990).

Por otro lado, si el destete precoz permite una posterior recuperación de reservas suficiente, un mejor estado corporal de las vacas en el momento del siguiente parto permitirá mejorar los rendimientos reproductivos en el siguiente ciclo de producción, ya que la CC al parto es clave en el reinicio de la actividad ovárica. Sin embargo, si la duración del periodo entre destetes o la oferta forrajera es insuficiente para crear diferencias en la recuperación de reservas, no se observan diferencias en los rendimientos reproductivos al siguiente parto (Basarab *et al.*, 1986; Makarechian *et al.*, 1988; Grings *et al.*, 2005).

Finalmente, en términos económicos, el destete precoz permite reducir los costes de alimentación de las vacas lactantes, y si además se produce una mayor recuperación de reservas durante el pastoreo, traducida en un mejor estado corporal al inicio de la siguiente estabulación, pueden reducirse los gastos de alimentación necesarios durante el posterior ciclo de producción. Así, Peterson *et al.* (1987) cifran en un 45,3% la reducción en el consumo de alimento por parte de vacas cuyos terneros fueron destetados precozmente, presentando además una mayor eficiencia biológica en la transformación de nutrientes en peso del ternero. Otros autores (Pang *et al.*, 1999) también afirman que las necesidades alimenticias de la pareja vaca-ternero se reducen al adelantar el destete, con el consiguiente ahorro económico, aunque dependiendo del posterior manejo alimenticio y de los rendimientos las ventajas del destete precoz pueden ser menos claras (Story *et al.*, 2000).

Puesto que existen distintos tipos de explotaciones de vacas de cría, que venden el ternero tras el destete o una vez cebado, el margen económico (relación entre costes y beneficios) dependerá del tipo de producto vendido. Si los terneros se venden al destete,

los únicos costes a considerar son los de mantenimiento del rebaño de vacas y los asociados al ternero durante la lactación, mientras que en las explotaciones que ceban hay que contabilizar también los costes durante la fase de cebo de los terneros. Existen discrepancias sobre las opciones de manejo que generan un mayor margen económico. En algunos trabajos en los que se considera la venta del ternero al destete, el mayor beneficio se obtiene cuando se incrementa la edad, y por tanto el peso, del ternero destetado (Pang *et al.*, 1999; Julien y Tess, 2002). Sin embargo, en otros sistemas en los que se alimenta el ternero destetado precozmente con dietas forrajeras entre ambas fechas de destete y se venden todos los terneros tras el momento del destete tradicional, las parejas vaca-ternero destetados precozmente resultan más eficientes (Peterson *et al.*, 1987). En explotaciones que ceban los terneros tras el destete, Story *et al.* (2000) no hallaron diferencias en beneficios asociadas al momento de destete, indicando que el cambio de edad al destete sólo influye al momento en el que se incurre en los mayores costes, pero no en el resultado final. Obviamente, los resultados económicos dependerán de los precios de los insumos y productos considerados en unas condiciones dadas, que pueden variar entre diferentes sistemas e incluso a lo largo del año en un mismo sistema.

2.2. Efecto de la edad al destete sobre los rendimientos de los terneros

A pesar de que existe abundante bibliografía sobre la influencia de la edad a la cual se realiza el destete sobre las pautas de crecimiento de los terneros, la interpretación de los resultados existentes es compleja por la multitud de factores adicionales que difieren entre los distintos ensayos. En primer lugar, el genotipo sexual utilizado no es constante, ya que la mayoría de estudios que comparan los rendimientos de terneros destetados precoz o tradicionalmente han usado terneros castrados (p.e. Myers *et al.*, 1999a, b, c; Fluharty *et al.*, 2000; Schoonmaker *et al.*, 2001) mientras que los que han investigado con terneros enteros son más escasos (Williams *et al.*, 1975; Schoonmaker *et al.*, 2002; Pordomingo 2002).

Por otro lado, las edades al destete en rebaños de vacuno de carne varían desde los 30 días (Houghton *et al.*, 1990) a los 330 días (Butler-Hogg *et al.*, 1981), y lógicamente su efecto sobre los rendimientos será diferente en función del grado de desarrollo del animal como rumiante. De hecho, según la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, 2006), el destete debería practicarse, como mínimo, cuando los terneros tengan una ingestión suficiente de alimentos no lácteos, aunque simulando los procesos naturales, el reglamento que regula la producción agrícola ecológica (R(CEE) N° 2092/91), indica que los terneros deberán ser alimentados a base de leche natural durante un período mínimo de 3 meses.

También varía el tiempo transcurrido entre los destetes, desde 1 mes (Basarab *et al.*, 1986) a 7 meses (Arthington *et al.*, 2005). Además, en los ensayos que se han realizado con diversas razas, se ha observado que el efecto de la edad al destete puede variar entre razas (Myers *et al.*, 1999a). Finalmente, otra causa de variación entre los estudios

es el criterio de sacrificio, ya sea una edad, peso o espesor de grasa dorsal fijos, aspectos que condicionan la duración del ciclo y pueden influir en la calidad de la canal y la carne.

Uno de los principales factores que pueden modular las diferencias en rendimientos asociadas a la edad al destete es la dieta que reciben los animales tanto en el periodo entre destetes como durante la fase de engorde. En los distintos trabajos se han contemplado dietas forrajeras en pastoreo (Pordomingo, 2002; Vendramini *et al.*, 2006) o pesebre (Basarab *et al.*, 1986; Schoonmaker *et al.*, 2004) o alimentación intensiva (Myers *et al.*, 1999a, c). Si en la fase entre destetes los terneros reciben dietas forrajeras, sus ganancias pueden ser menores que las de los terneros todavía lactantes (Pordomingo, 2002), ya que el pasto no suele contener la suficiente cantidad de energía para mantener el mismo crecimiento que junto a la madre. Sin embargo, cuando los terneros destetados precozmente reciben dietas de alta concentración energética, su crecimiento es superior al de los terneros lactantes, siendo muy eficientes en la transformación del alimento (Myers *et al.*, 1999a; Fluharty *et al.*, 2000; Schoonmaker *et al.*, 2001; Barker-Neef *et al.*, 2001). Esto puede indicar que puede no resultar rentable económicamente prolongar la lactación una vez que el ternero tiene una edad suficiente para ser destetado y transferido a un cebadero. Esto se debería a que el coste de producción asociado a aumentar su peso mientras sigue junto a la madre es mayor que los beneficios adicionales obtenidos por vender un ternero más pesado al destete (Peterson *et al.*, 1987).

Cuando los terneros pasan a cebo intensivo tras el destete, manejo habitual en España, aparecen discrepancias sobre el efecto de la edad al destete en sus rendimientos en esta fase. En algunos estudios los terneros destetados de manera tradicional presentaron mejores rendimientos que los destetados precozmente (Williams *et al.*, 1975; Barker-Neef *et al.*, 2001; Schoonmaker *et al.*, 2001), mientras que en otros no aparecen diferencias (Myers *et al.*, 1999a; Schoonmaker *et al.*, 2002, 2004). En ocasiones se observa que la ingestión diaria de alimentos y eficiencia de conversión son independientes de la edad al destete (Fluharty *et al.*, 2000; Schoonmaker *et al.*, 2002, 2004), mientras que en otros trabajos estos parámetros son más favorables en los terneros destetados precozmente (Myers *et al.*, 1999a, Barker-Neef *et al.*, 2001) o a la edad tradicional (Williams *et al.*, 1975; Schoonmaker *et al.*, 2001).

2.3. Efecto de la edad al destete sobre la calidad de la canal y la carne

Los criterios de sacrificio de los terneros que han sido cebados de manera intensiva también varían entre estudios, en función del tipo de producto comercializado en cada área de producción. En ciertos trabajos se sacrifica a los terneros en un estado de engrasamiento determinado (Barker-Neef *et al.*, 2001; McCartney *et al.*, 2004; Myers *et al.*, 1999a, b, c; Schoonmaker *et al.* 2002, 2004), con lo que el criterio es un espesor de grasa dorsal fijo, generalmente medido por ultrasonidos, que varía entre estudios desde

0.8 a 1.27 cm. En estos casos, cuando los terneros son sacrificados a espesores de grasa dorsal bajos, el peso al sacrificio de los terneros destetados precozmente es igual (Story *et al.*, 2000; Myers *et al.*, 1999c) o superior (Myers *et al.*, 1999a) al de los destetados a la edad tradicional. Sin embargo, cuando los terneros se sacrifican a un alto nivel de engrasamiento final, los terneros destetados tradicionalmente tienen mayor peso al sacrificio y canales más pesadas, aunque con la misma conformación (Barker-Neef *et al.*, 2001; Schoonmaker *et al.*, 2002, 2004).

En otros trabajos el sacrificio se realiza a un peso fijo, y en ellos se describe que la edad al destete no afecta al peso canal ni rendimiento canal (Fluharty *et al.*, 2000; Schoonmaker *et al.*, 2001), o que el destete precoz mejora el rendimiento canal (Meyer *et al.*, 2005). Cuando los terneros se sacrifican a edad fija, si alcanzan el mismo peso al sacrificio, también se mejora el rendimiento canal con el destete precoz (Williams *et al.*, 1975)

Las diferentes pautas de crecimiento seguidas por los terneros en función de su edad al destete podrían afectar a la calidad de la carne. Sin embargo, son escasos los estudios que han valorado este efecto (Barker-Neef *et al.*, 2001; Schoonmaker *et al.*, 2001, 2002, 2004; Meyer *et al.*, 2005), centrándose la mayoría de ellos en posibles diferencias en la terneza de la carne, que podría estar ligada tanto al ritmo de ganancia como a la edad de los terneros al sacrificio. Únicamente Schoonmaker *et al.* (2004) encontraron diferencias en la cantidad de grasa intramuscular y la terneza. El color de la carne fue exclusivamente estudiado por Barker-Neef *et al.* (2001), que encontraron que la carne de los terneros destetados a 200 días, que presentaron crecimiento compensador en la finalización, tenía igual índice de rojo e índice de amarillo pero mayor luminosidad que los destetados 100 días antes.

2.4. Efecto de la edad al destete sobre el estrés producido por el destete y el miedo frente a humanos

El bienestar animal es en la actualidad una de las preocupaciones de los consumidores europeos, junto con la calidad de los productos y el respeto por el medioambiente (Boissy *et al.*, 2005). En la producción de rumiantes, el manejo rutinario puede desencadenar sensaciones negativas que afectan negativamente al bienestar animal, e indirectamente a la productividad, ya que los rumiantes domesticados todavía presentan reacciones defensivas frente a los humanos (Boissy *et al.*, 2005), que pueden suponer un riesgo tanto para el ganadero como para el animal (Palacio *et al.*, 2005).

El estrés se define como un mecanismo de defensa caracterizado por un esfuerzo de adaptación, que dará lugar a una enfermedad cuando la agresión es intensa y duradera (Coppo *et al.*, 2003). Cuando un animal se enfrenta a un cambio social, emocional o alimentario genera un mecanismo neuroendocrino de defensa. Primero se produce una descarga de catecolaminas que dan lugar una leucocitosis por elevación de todos los

tipos de glóbulos blancos (situación de alarma simpática) (Coppo *et al.*, 2003). Posteriormente se produce una liberación de cortisol, que activa la defensa inmune (celular y humoral) e inicia la gluconeogénesis para dar energía extra para el proceso de estrés/recuperación (Dantzer *et al.*, 1983). La complejidad de esta respuesta hace que no sea posible evaluarla con una sola medida (Boissy, 1998), por lo que para su estudio se recomienda realizar medidas de comportamiento y fisiológicas.

Los terneros responden de diferente manera al estrés según el manejo previo, factores medioambientales y nutricionales y su genotipo (Phillips *et al.*, 1989). Uno de los factores más estresantes a los que se enfrenta un ternero es el destete (Lefcourt y Elsasser, 1995), debido a la ruptura del vínculo materno (Veissier y Le Neindre, 1989; Hickey *et al.*, 2003). Además de tener que habituarse a un ambiente social nuevo, sin la presencia de la madre y a un mayor contacto con humanos, los terneros deben adaptarse a una nueva alimentación. Por otro lado, tras el destete, los terneros son más capaces de entablar relaciones con sus congéneres (Veissier y Le Neindre, 1989) e incluso con humanos (Boivin *et al.*, 1992).

El estrés provocado a los terneros por el destete ha sido revisado en múltiples trabajos. Así, Hickey *et al.* (2003) estudiaron el efecto del destete en terneros sobre el comportamiento, los mediadores fisiológicos del estrés (cortisol) y la función inmune (neutrófilos, linfocitos y proteínas de fase aguda). Estos autores describieron que el destete incrementó la noradrenalina y relación neutrófilos:linfocitos, ya que produjo neutrofilia y linfopenia, pero no afectó al resto de los parámetros estudiados. En otro trabajo con razas de vacuno de carne europeas, Lefcourt y Elsasser (1995) indicaron un ligero incremento de cortisol tras el destete, que indica una situación de alarma simpática pero no un cuadro de estrés propiamente dicho. Sin embargo, son pocos estudios del efecto de la edad al destete sobre el estrés, si bien ésta podría influir en el grado de respuesta, ya que el estrés sufrido a edades tempranas reduce el comportamiento emocional y/o incrementa la habilidad para sobrellevar situaciones estresantes en la madurez en ganado vacuno (Boissy y Bouissou, 1988).

Entre los trabajos que estudian el efecto de la edad al destete sobre el estrés en el momento del destete se encuentra el de Arthington *et al.* (2003), que compararon los rendimientos zootécnicos y la respuesta adaptativa de animales destetados a los 3 ó 10 meses de edad. En su caso, la concentración de proteínas de fase aguda fue más elevada en los terneros destetados más tarde, con lo que el destete precoz parecía implicar una mayor tolerancia al estrés. Sin embargo, sus resultados con respecto a la edad al destete son difícilmente extrapolables a otras condiciones de producción, ya que los animales tuvieron un manejo muy diferente durante el periodo entre destetes. Es frecuente que, por necesidades de manejo en un sistema de producción dado, en torno al destete ocurran otros procesos que también generan estrés y que interfieren con el efecto exclusivo de la edad al destete.

Por otro lado, Smith *et al.* (2003) evaluaron el comportamiento y la fórmula leucocitaria tras el destete de terneros destetados a la edad de 4 ó 7 meses. Aunque no hubo diferencias en las células blancas debido a la edad al destete (ni por tanto en el grado de inmunosupresión o en la predisposición a padecer enfermedades), sí observaron en los terneros destetados precozmente reacciones comportamentales que indicaban mayor estrés que en los destetados con 7 meses de edad.

La respuesta endocrina al estrés en función de la edad al destete ha sido estudiada por Bueno *et al.* (2003), con destetes a 150, 210 ó 270 días. Estos autores observaron que la concentración plasmática de cortisol al destete se redujo con la edad, aunque la mayor intensidad de respuesta (valores durante el primer mes post-destete) se dio en los terneros destetados a los 210 d, indicando que eran más capaces de iniciar mecanismos de respuesta al estrés a corto plazo.

En otros trabajos realizados con cruces de cebú (revisión de Coppo *et al.*, 2003), se cita que el destete precoz provoca una respuesta que es responsable de los menores crecimientos de los terneros cuando se comparan con los que todavía están lactantes. Sin embargo, se indica que dicha respuesta adaptativa (alarma simpática) a la separación de la madre y el cambio de alimentación no llega a configurar un cuadro de estrés.

3. Efecto de la suplementación a los terneros en lactación sobre los rendimientos del rebaño

Los ingresos percibidos por los rebaños de cría dependen en gran medida de la obtención económicamente eficiente de terneros con pesos elevados al destete y con un alto potencial de crecimiento tras el mismo (Martin *et al.*, 1981; Prichard *et al.*, 1989; Bailey *et al.*, 1991). La consecución de estos objetivos depende, entre otros aspectos, del genotipo de ambos progenitores, de la producción lechera de la vaca y de la cantidad de alimentos consumidos tanto por la vaca como por el ternero durante la lactación (Bowden, 1981). En referencia a esto último, en general se considera más eficiente biológica (Parkins *et al.*, 1977; Casasús *et al.*, 2001b) y económicamente (Bernués *et al.*, 2001) suplementar al ternero (creep feeding) que aumentar el nivel de alimentación ofrecido a la vaca para que produzca una mayor cantidad de leche.

Sin embargo, la suplementación de concentrado no se recomienda en todos los casos, puesto que el interés de esta práctica depende tanto de la edad del animal y de su sexo, como de su destino al destete, ya sea la recria para reposición o el cebo para sacrificio.

3.1. Efecto de la suplementación a los terneros en lactación sobre los rendimientos de las vacas

En algunos trabajos se describe que la suplementación a los terneros durante la lactación resulta ventajosa para las vacas, ya que mejora su peso, condición corporal y

tasa de fertilidad (Stricker *et al.*, 1979; Jones y Jones, 1982), aunque las diferencias entre tratamientos no son consistentes en la literatura (Prichard *et al.*, 1989; Tarr *et al.*, 1994). Por otra parte, los motivos para esta mejora no son claros.

En trabajos realizados en pastoreo, Faulkner *et al.* (1994) encontraron que las ganancias de peso y condición corporal eran superiores en vacas cuyos terneros recibían suplementación, hecho que atribuyeron a una mayor disponibilidad de forraje para las vacas, al reducir los terneros su ingestión de pasto. Sin embargo, no hallaron relación entre la suplementación a los terneros y la producción de leche de las vacas.

3.2. Efecto de la suplementación en lactación a las hembras destinadas a la reposición sobre sus rendimientos

Los resultados de los ensayos que estudian el efecto de la suplementación en terneras destinadas a la reposición del rebaño de cría indican que no resulta tan interesante como en terneros que se ceban posteriormente. La suplementación durante la lactación podría garantizar que las novillas tuvieran un peso adecuado al destete, que les permitiera alcanzar tempranamente la pubertad y adelantar la edad al primer parto (Bagley, 1993). Sin embargo, diversos estudios (Corah y Bishop, 1975; Ochoa *et al.*, 1981; Bagley, 1993) advierten de que la suplementación podría dar lugar a un excesivo engrasamiento de las novillas, que perjudicaría sus posteriores rendimientos productivos como vacas adultas.

Concretamente, Martin *et al.* (1981) estudiaron el efecto de la suplementación previa al destete (entre los 4 y los 7 meses de lactación) en novillas destinadas a la reposición del rebaño. Esta suplementación mejoró los crecimientos en lactación pero supuso menores ganancias tras el destete, y afectó negativamente a sus rendimientos en la edad adulta, reduciéndose el número de terneros destetados por vaca, los pesos del ternero al nacimiento, a los 120 días y al destete, y por tanto la productividad total de la vaca durante su carrera productiva.

Hixon *et al.* (1982) también indicaron que la suplementación durante la lactación incrementaba el peso al destete pero empeoraba los rendimientos tras el destete. Aunque no se observaron efectos sobre los rendimientos reproductivos de la vaca en la vida adulta, sí se redujo la cantidad de leche producida. En el mismo sentido, Buskirk *et al.* (1996) encontraron que la suplementación incrementaba el peso y el espesor de grasa de las novillas y tendía a reducir la edad de pubertad. Sin embargo, también apreciaron efectos negativos sobre el tejido mamario (incremento de tejido adiposo en detrimento del tejido parenquimático secretor), que tuvieron como consecuencia una menor producción de leche y por tanto, de las ganancias de peso de sus crías hasta el destete. De todo ello se concluye que esta práctica no resulta recomendable en novillas de reposición.

3.3. Efecto de la suplementación en la lactación a los terneros destinados al cebo sobre sus rendimientos

Diversos estudios recogen el incremento de peso de los terneros al destete debido a la suplementación de concentrados en lactación (Martin *et al.*, 1981; Lishman *et al.*, 1984; Bailey *et al.*, 1991; Myers *et al.*, 1999a; Fluharty *et al.*, 2000; Hennessy *et al.*, 2001). Además, Stricker *et al.* (1979) encontraron que los terneros suplementados durante la lactación tenían mayor altura y grasa corporal que los no suplementados. Esto último podría atribuirse a que un cambio en el nivel de alimentación en lactación influiría más en los tejidos de desarrollo tardío que en los precoces (Martin *et al.*, 1981), por lo que dietas diferentes podrían dar lugar a animales de edad cronológica similar pero diferente edad fisiológica.

La suplementación se realiza con el objeto de compensar la reducción en la producción lechera que se observa en las vacas de cría conforme avanza la lactación. Bartle *et al.* (1984) afirman que a partir de la novena semana de lactación la producción de leche no es suficiente para optimizar el crecimiento de los terneros, por lo que hay que proporcionar alimentos sólidos que compensen la reducción en el aporte de nutrientes de la leche. Así, cuando los terneros reciben una suplementación durante la lactación son capaces de mantener las ganancias de peso constantes en este periodo (Scarth *et al.*, 1968; Corah y Bishop, 1975; Ochoa *et al.*, 1981; Hixon *et al.*, 1982).

El efecto positivo de esta suplementación depende en gran medida del potencial lechero de la vaca y del forraje disponible para el rebaño en caso de hallarse en pastoreo (Martin *et al.*, 1981). Según Ochoa *et al.* (1981) y Casasús *et al.* (2001a) los terneros cuyas madres producen menos leche, por causas genéticas o de manejo, obtienen mayores beneficios de la suplementación en lactación. Sin embargo, otros autores (Lishman *et al.*, 1984; Prichard *et al.*, 1989) no encuentran esta relación, sino que describen efectos aditivos de ambas fuentes de alimentación, de modo que la suplementación no enmascara las diferencias en ingestión de leche. A este respecto, Parkins *et al.* (1977) añaden incluso que aparentemente la suplementación se convierte en ganancia de peso adicional de manera más eficiente con una mayor ingestión de leche.

Cuando se analizan los efectos de la suplementación de concentrados en terneros que se encuentran en pastoreo durante la lactación, la respuesta depende de la cantidad y calidad del forraje disponible para el rebaño. Si las vacas y terneros disponen de un forraje abundante y de calidad, la suplementación de concentrado no mejora los crecimientos de los terneros. Sin embargo, en situaciones de escasez, los terneros suplementados sí presentan una mejora en sus ganancias, compensado tanto su menor ingestión de leche, por el menor nivel nutritivo de las madres, como de pasto (Wright, 1992; Tarr *et al.*, 1994).

Además de los efectos positivos de la suplementación sobre los rendimientos en lactación, esta práctica podría ser beneficiosa para el ternero también tras el destete. Los terneros suplementados en lactación podrían ser menos propensos a problemas digestivos durante la adaptación al cebo intensivo, debido a su exposición previa a los concentrados (Drouillard y Kuhl, 1999), presentando incluso menor incidencia de problemas respiratorios en la finalización (Myers *et al.*, 1999a).

Con respecto a las repercusiones de la suplementación en lactación sobre los rendimientos de los terneros en el posterior periodo de cebo existe cierta controversia en la literatura. En algunos trabajos se observan ingestiones, ganancias e índices de conversión similares o más favorables en los terneros que habían recibido concentrados en lactación (Myers *et al.*, 1999a), aunque la existencia de un efecto positivo parece ligada a la magnitud de las diferencias creadas durante la lactación (Tarr *et al.*, 1994). En otros casos, por el contrario, se observa que los animales que han sido sometidos a una restricción alimenticia a una edad relativamente temprana, pueden tener posteriormente una mayor ganancia en cebo, llegando incluso a una compensación completa de la diferencia de peso en el momento del sacrificio a igual edad (Patterson *et al.*, 1995), aunque Berge (1991) afirmó que una restricción a edad muy temprana difícilmente genera un crecimiento compensador.

En la revisión de Drouillard y Kuhl (1999) se concluye que generalmente los incrementos en peso vivo adquiridos debido a la suplementación se retienen a lo largo del periodo de finalización, por lo que este manejo no parece tener efectos importantes sobre el crecimiento en cebo. De este modo, las similares ganancias en cebo condicionan la duración del mismo si los animales han de alcanzar un mismo peso final previamente fijado (Corah y Bishop, 1975; Martin *et al.*, 1981; Wright, 1992; Faulkner *et al.*, 1994; Fluharty *et al.*, 2000; Casasús *et al.*, 2001b; Hennessy *et al.*, 2001). Si por el contrario los terneros parten del mismo peso inicial, al no aparecer diferencias en la finalización debido a la alimentación previa al destete, se necesita el mismo tiempo para alcanzar el peso al sacrificio, como ocurrió en el estudio de Fluharty *et al.* (2000).

En los estudios de Corah y Bishop (1975) y Casasús *et al.* (2001b) los terneros suplementados tuvieron un menor total consumo de alimentos en cebo reduciéndose la cantidad total requerida entre un 15 y un 45%. Sin embargo, cuando se evalúa conjuntamente la cantidad de suplemento ingerida durante la lactación y finalización, los terneros suplementados en lactación pueden presentar un consumo total de pienso mayor o similar (Myers *et al.*, 1999a; Casasús *et al.*, 2001b). Las posibilidades de que la reducción del consumo en cebo permitan compensar el gasto de la suplementación en lactación dependerán del precio de los concentrados de lactación y finalización en relación al valor de ternero al sacrificio (Corah y Bishop, 1975).

3.4. Efecto de la suplementación durante la lactación sobre las características de la canal y la carne

Cuando se procede al sacrificio de los animales inmediatamente tras el destete, la calidad de la canal se ve influida por la suplementación durante la lactación. Por ejemplo, Corah y Bishop (1975) encontraron que las novillas que habían sido suplementadas durante la lactación presentaron mayor rendimiento canal, espesor de grasa dorsal y contenido de grasa en la canal que las que no habían sido suplementadas.

Si por el contrario los terneros machos son sometidos a una fase de cebo, la suplementación no parece tener efectos importantes sobre las características de la canal (Corah y Bishop, 1975; Drouillard y Kuhl, 1999), aunque sus efectos podrían depender de la duración del cebo, la cual varía en la bibliografía entre 82 y 225 días (Hennessy *et al.*, 2001; Tarr *et al.*, 1994). En un estudio con un periodo de cebo largo relativo al efecto de la nutrición en las primeras semanas de vida sobre la composición corporal, Patterson y Steen (1995) no hallaron diferencias en la composición química de la canal al sacrificar a los animales a un mismo peso final. Otros autores (Tarr *et al.*, 1994; Fluharty *et al.*, 2000; Casasús *et al.*, 2001b) tampoco encontraron diferencias en la calidad o composición de la canal debidas al aporte de concentrados en lactación, y en el caso de encontrarlas fueron de escasa magnitud y sólo en aspectos puntuales, p.e. en la cantidad de grasa pélvico-renal (Myers *et al.*, 1999a).

En algunos estudios con fases de finalización más cortas, sin embargo, sí se encuentra un efecto positivo de la suplementación en lactación sobre el peso canal (Scarth *et al.*, 1968), rendimiento canal (Hennessy *et al.*, 2001) o calidad y engrasamiento de la canal (Faulkner *et al.*, 1994).

Con respecto a la calidad de la carne, parece que el crecimiento compensador originado en ganado vacuno u ovino por uno o más periodos de restricción no tiene efectos, o acaso muy leves, sobre estos aspectos (O'Donovan, 1984). El efecto específico de suplementación en lactación fue estudiado por Allingham *et al.* (2001), que no encontraron diferencias en medidas bio-físicas en la dureza del tejido conectivo debido al crecimiento pre-destete. Sin embargo, Hennessy *et al.* (2001) indicaron que un panel de consumidores evaluaba más positivamente la carne de los terneros que no habían sido suplementados frente a los que sí lo habían sido.

Así, algunos estudios han mostrado que uno de los factores clave en la determinación de la calidad de la carne es la alimentación (Geay *et al.*, 2001; Priolo *et al.*, 2001; Coulon *et al.*, 2002), especialmente la ofrecida previamente al sacrificio y sin embargo parece posible, aunque resulte complicado, modificarla a través del manejo del ternero.

4. Efecto de la raza sobre los rendimientos del rebaño

Diversos trabajos de investigación tienen como objetivo la caracterización racial con respecto a múltiples aspectos productivos, con la finalidad de definir los tipos raciales que mejor se adaptan a una situación productiva dada. En este sentido, existe una gran diversidad racial principalmente en cuanto al tamaño, potencial de crecimiento y potencial lechero que condicionan las necesidades de los animales, y la eficiencia con la que utilizan los aportes nutritivos disponibles en un sistema de producción dado, con importantes interacciones entre el genotipo y el ambiente en que se explotan (Morris y Wilton, 1976; Butts *et al.*, 1984; Montaña-Bermúdez y Nielsen, 1990; Nugent *et al.*, 1993; Jenkins y Ferrell, 1994).

Dos de las razas más utilizadas en la zona norte de nuestro país son la Pirenaica y la Parda de Montaña. La primera es una raza autóctona (Blasco *et al.*, 1992), mientras que la segunda procede de los animales de raza Parda Alpina introducidos en la zona desde hace más de un siglo para mejorar la producción lechera de los rebaños, si bien hoy día se ha diferenciado como raza dedicada exclusivamente a la producción de carne (Sanz *et al.*, 2001), bajo diferentes alternativas de cebo (Cerdeño *et al.*, 2006; Vieira *et al.* 2007). En los últimos años se ha hecho un importante esfuerzo para caracterizar los diferentes aspectos productivos, reproductivos y de calidad de canal y carne de ambas razas, determinando los efectos que diferentes alternativas de manejo pudieran tener sobre los mismos.

4.1. Efecto de la raza sobre los rendimientos de las vacas y terneros

Se han realizado diversos estudios para comparar los rendimientos productivos y reproductivos de las razas Parda de Montaña y Pirenaica en condiciones de montaña. En estos trabajos se ha constatado que la raza Parda de Montaña, al derivar de una raza de doble aptitud, tiene mayor producción lechera que la Pirenaica, apareciendo también diferencias en la composición química de la leche (Casasús *et al.*, 2000; Sanz *et al.*, 2003).

Además, ambas razas reparten de manera diferente los aportes energéticos procedentes de la alimentación. Así, ante una situación de escasez alimenticia, las vacas de raza Parda de Montaña priorizan la producción de leche para sus terneros frente al mantenimiento de las reservas corporales, mientras que la raza Pirenaica primero garantiza el mantenimiento de sus reservas corporales, a expensas de reducir su producción de leche (Casasús, 1998). Con respecto a los parámetros reproductivos, también aparecen diferencias en la reactivación ovárica tras el parto al presentar la raza Parda de Montaña una mayor duración del anestro postparto que la Pirenaica cuando los terneros tienen acceso libre a sus madres pero no cuando el acceso es restringido (Sanz *et al.*, 2003).

La diferente producción lechera de las madres origina mayores crecimientos de los terneros de la raza Parda de Montaña durante la fase de lactación en establo (Sanz *et al.*, 2003; Villalba *et al.*, 2000). Sin embargo, cuando los terneros y las vacas permanecieron en praderas durante la lactación, los terneros de ambas razas tuvieron ganancias de peso similares, por el acceso de los terneros a un alimento extra de calidad (Casasús *et al.*, 2000). En el mismo sentido, las ganancias de peso durante el periodo de pastoreo estival en puerto de los terneros nacidos en primavera también es similar en ambas razas (Casasús, 1998). Sin embargo, las diferencias originadas al inicio de la lactación resultan en un mayor peso al destete de los terneros de raza Parda de Montaña (Villalba *et al.*, 2000).

Con respecto a los rendimientos durante el cebo, los estudios realizados con ambas razas, comparándolas también con otras razas autóctonas españolas, indican que se trata de dos razas de características similares, intermedias entre las más rústicas (Avileña, Retinta y Morucha) y las de aptitud más cárnica (Asturiana de los Valles y Rubia Gallega) (Albertí *et al.*, 2005). No se han encontrado diferencias en la ganancia de peso en cebo, (Albertí *et al.*, 1997; Piedrafita *et al.*, 2003; Campo *et al.*, 1999), ni tampoco en la ingestión de pienso o el índice de conversión en terneros sacrificados con 460 kg (Albertí *et al.*, 1997). Sin embargo, cuando los terneros de estas razas se llevaron a mayores pesos de sacrificio (550 kg), Albertí *et al.* (1999) encontraron ganancias similares pero menor consumo de pienso, y por tanto mejor índice de conversión, en los terneros de raza Pirenaica.

Para ampliar el conocimiento sobre la raza Parda de Montaña y la Pirenaica se han realizado estudios sobre la respuesta al estrés en diferentes situaciones (García-Belenguer *et al.*, 1995; Palacio, 2000; Palacio *et al.*, 2005). En ellos se han encontrado diferencias raciales en el cortisol plasmático, número de células blancas totales, etc., en vacas y terneros, por lo que se concluyó que la raza Pirenaica presenta una mayor reactividad del eje hipotalámico y es más sensible a la presencia humana que la raza Parda de Montaña.

4.2. Efecto de la raza sobre la calidad de la canal y la carne

Los trabajos en que se compara la calidad de la canal en ambas razas a pesos categoría añojo (460 kg) indican que los terneros de raza Pirenaica presentan mejor rendimiento canal y conformación, y menor engrasamiento que los terneros de raza Parda de Montaña (Albertí *et al.*, 1997; Campo *et al.* 1999). Sin embargo, en añojos pesados (550 kg) Piedrafita *et al.* (2003) observaron un rendimiento canal similar pero mayor conformación y engrasamiento en los terneros de raza Bruna dels Pirineus (similar a la Parda de Montaña, pero localizada en el Pirineo catalán), presentando además una grasa subcutánea más luminosa, con menor índice de rojo y mayor índice de amarillo.

Con respecto a la calidad de la carne, las diferencias entre ambas razas no son consistentes, y parecen depender del peso al sacrificio. En el caso del color de la carne, Sañudo *et al.* (1998) no encontraron diferencias entre ambas razas en terneros sacrificados con 460 kg, mientras que Gil *et al.* (2001) observaron mayor luminosidad e índice de amarillo en los terneros de raza Pirenaica cuando los animales se sacrificaron al alcanzar 550 kg. La carne de los terneros de raza Parda de Montaña presentó, además, un mayor contenido en grasa intramuscular (Campo *et al.*, 1999; Gil *et al.*, 2001).

La terneza instrumental de la carne fue mayor en los terneros de raza Pirenaica a pesos ligeros (330 kg; Sañudo *et al.*, 2004) o intermedios (460 kg; Campo *et al.*, 2000), pero no se observaron diferencias en añajos pesados (550 kg; Sañudo *et al.*, 2004). En cuanto a la calidad sensorial de la carne de los terneros sacrificados con 460 kg, evaluada por un panel de expertos, ambas razas presentan similares valores en los diferentes tiempos de maduración estudiados, excepto en la terneza sensorial, presentando la raza Pirenaica mayor valoración (Campo *et al.*, 1999).

Por lo tanto, es posible que según el criterio de sacrificio empleado aparezcan diferencias raciales en las características de la canal y la carne, aunque la magnitud de estas diferencias es pequeña al ser estas dos razas de características intermedias entre las razas cárnicas y rústicas autóctonas españolas.

5. Regulación hormonal del crecimiento y desarrollo de los terneros

El sistema endocrino es un componente esencial en la regulación de la fisiología, metabolismo y crecimiento animal. La hormona del crecimiento (GH) tiene un efecto indirecto en el desarrollo del músculo esquelético, y sus acciones están mediadas por el Factor de Crecimiento similar a la Insulina-I (IGF-I). Los esteroides y los β -agonistas proveen al animal de las herramientas necesarias para el crecimiento muscular mientras que la insulina, hormonas tiroideas y glucocorticoides tienen un papel principalmente permisivo del crecimiento, diferenciación y mantenimiento del músculo. Algunas de estas hormonas (p.e. GH, IGF-I, insulina) también regulan el tejido adiposo, que a su vez secreta una diversidad de hormonas (leptina) y factores de crecimiento (Hossner, 2005). En concreto, las concentraciones plasmáticas de IGF-I y leptina están relacionadas y reflejan el estado nutricional y metabólico del animal, y tienen importantes implicaciones en la regulación del crecimiento y desarrollo del animal (Houseknecht *et al.*, 2000).

5.1. Papel del IGF-I en la regulación del crecimiento en vacuno

El eje somatotropo es un sistema hormonal con diversos niveles, formado por la GH, IGF-I e IGF-2, sus proteínas transportadoras y sus receptores (Figura 1). Es un mecanismo clave de control y equilibrio, ya que mantiene la homeostasis durante el crecimiento del animal; coordina el potencial genético para el crecimiento y los procesos adaptativos para ajustar limitaciones medioambientales y nutritivas. Por lo tanto, tiene un

papel esencial en la regulación del crecimiento postnatal (Breier y Sauerwein, 1995; Breier, 1999).

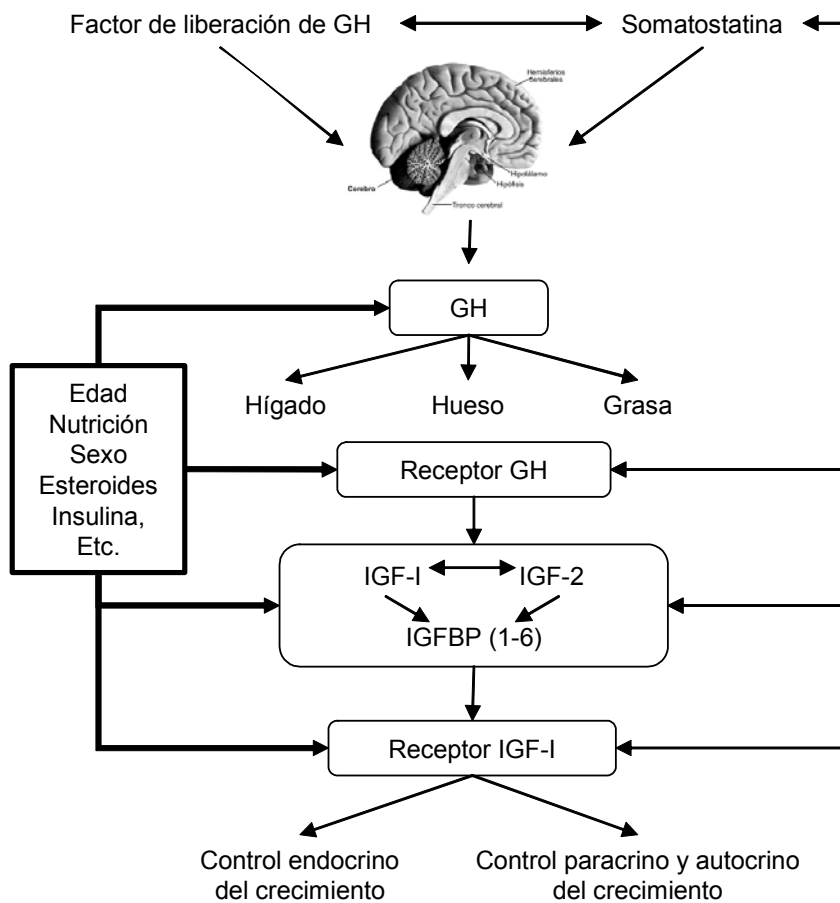


Figura 1. Representación simplificada del eje somatotropo (Breier y Sauerwein, 1995)

La GH ejerce muchas de sus acciones somatogénicas a través del IGF-I y del IGF-2 (Renaville *et al.*, 2002). Sin embargo, la naturaleza pulsátil de la secreción de la GH hace difícil correlacionarla con las características de crecimiento (Davis *et al.*, 1984) y para determinar su concentración es necesaria la toma de múltiples muestras de sangre en 6 - 8 horas. Sin embargo, una única muestra de sangre sirve para determinar la concentración de IGF-I (Hossner *et al.*, 1997), porque es relativamente estable sin ritmo diurno y porque tiene una larga vida-media biológica (Breier y Gluckman, 1991).

El IGF-I ha sido implicado en el crecimiento prenatal y postnatal, lactación, reproducción y función inmune (McGuire *et al.*, 1992), estando presente en todos los fluidos biológicos casi siempre (95-99%) ligado a proteínas de transporte (IGFBPs) (Renaville *et al.*, 2002).

La concentración de IGF-I en vacuno varía con la edad, la nutrición, la raza, el sexo y la estación del año. La concentración plasmática de IGF-I es baja al nacimiento y son

diversos los estudios que han encontrado un incremento postnatal hasta alcanzar una meseta (Breier *et al.*, 1988b; Ronge y Blum, 1989; Kerr *et al.*, 1991; Röpke *et al.*, 1994; Davis *et al.*, 1995; Bruckmaier *et al.*, 1998; Renaville *et al.*, 2000). Es posible que este incremento se dé hasta la pubertad al existir un incremento concomitante de IGF-I y testosterona hasta ese momento (Renaville *et al.*, 1993; 2000).

La ingestión de energía y proteína están relacionadas positivamente con la concentración plasmática de IGF-I en vacuno (Elsasser *et al.*, 1989; Van Eenaeme *et al.*, 1994; Hays *et al.*, 1995). Cuando los terneros en crecimiento son restringidos moderadamente la concentración de IGF-I se mantiene constante (Breier *et al.*, 1986), mientras que si la restricción es severa la concentración de IGF-I se reduce (Breier *et al.*, 1986; Breier *et al.*, 1988a; Ellenberger *et al.*, 1989; Elsasser *et al.*, 1989; Ronge y Blum, 1989; Hayden *et al.*, 1993). La habilidad de la GH para mantener la concentración de IGF-I es menor en condiciones de subnutrición cuando la ingestión es escasa y el número de receptores de GH decrece (Breier *et al.*, 1988c). La relativa resistencia GH en animales subnutridos y consecuentemente los cambios inversos en la concentración plasmática de GH e IGF-I pueden representar un mecanismo que utiliza preferentemente los sustratos movilizados para el mantenimiento de la homeostasis frente al crecimiento y la proliferación celular. Al incrementarse el aporte energético de las dietas, la concentración de IGF-I se incrementa, pudiendo presentar los terneros crecimiento compensador. La concentración de IGF-I puede llegar a igualar o incluso superar la concentración de animales en crecimiento continuo (Anderson *et al.*, 1988; Ellenberger *et al.*, 1989; Hayden *et al.*, 1993; Henricks *et al.*, 1994; Barash *et al.*, 1998; Hornick *et al.*, 1998).

Diferentes estudios, en los que se alimentaba a los terneros de manera intensiva durante 9 a 14 meses, han constatado que existen diferencias raciales, presentando los terneros de raza Holstein mayor concentración de IGF-I que los terneros de raza Charolesa (Bellmann *et al.*, 2004), Blanco Azul Belga (Istasse *et al.*, 1990) y Wagyu (raza autóctona de Japón) (Matsuzaki *et al.*, 2001). En el vacuno, los machos suelen tener una concentración más elevada que las hembras (Kerr *et al.*, 1991; Röpke *et al.*, 1994; Davis *et al.*, 1995). También se ha encontrado que la concentración de IGF-I varía con la estación. Así, Davis *et al.* (1995) encontraron diferencias en la concentración de IGF-I entre terneros nacidos en primavera y terneros nacidos en otoño. Según Sarko *et al.* (1994), las diferencias estacionales son debidas a que la temperatura y humedad influyen sobre la ingestión de alimento.

Existen discrepancias acerca de la relación entre IGF-I y las características de crecimiento a corto/medio plazo. Por un lado, autores que no encontraron resultados concluyentes entre la concentración plasmática de IGF-I y la ganancia de peso en terneros en crecimiento (Kerr *et al.*, 1991; Connor *et al.*, 2000) sugieren que la concentración de IGF-I podría ser únicamente un pobre reflejo de una más importante producción y acción de IGF-I a nivel local. Sin embargo, otros estudios han encontrado

que la concentración de IGF-I está correlacionado positivamente con el peso y ganancia de peso (Ellenberger *et al.*, 1989; Stick *et al.*, 1998), la deposición de proteína (Anderson *et al.*, 1988; Hayden *et al.*, 1993; Ouellet *et al.*, 2001), porcentaje de proteína en la canal (Anderson *et al.*, 1988; Röpke *et al.*, 1994) o la tasa de deposición del músculo (Vestergaard *et al.*, 2003). Debido a la existencia de estas correlaciones se ha estudiado el uso de la concentración de IGF-I como un criterio de selección de ganado (Stick *et al.*, 1998; Moore *et al.*, 2005; Davis *et al.*, 2006), con el objeto de mejorar la ganancia de peso, la deposición de tejido magro y la eficiencia de transformación del alimento durante el cebo y, por tanto reducir los costes de alimentación (Moore *et al.*, 2005; Davis *et al.*, 2006).

5.2. Regulación de la deposición de tejido graso por la leptina en el vacuno

La leptina es una hormona proteica, sintetizada principalmente en el tejido adiposo aunque también se expresa en tejidos placentarios y fetales, glándula mamaria, estómago, músculos y tejido adiposo marrón. Está implicada en la regulación del apetito y el gasto energético, reparto de nutrientes entre tejidos y la composición corporal, secreción de hormonas a través de varias glándulas endocrinas, reproducción, función inmune y renal, hematopoyesis, angiogénesis... Puede actuar no sólo como señal endocrina en el cerebro y/o tejidos periféricos, sino también como una señal autocrina/paracrina en los propios tejidos que la producen (Chilliard *et al.*, 2001).

La expresión de la leptina en el tejido adiposo y su concentración en el plasma están regulados a corto, medio y largo plazo por la grasa corporal, la ingestión de alimento, nutrientes y hormonas (insulina y glucosa), nivel de ingestión, balance energético, estado fisiológico y factores ambientales. Así, se produce un rápido descenso de la leptina en animales subnutridos, que podría ser una señal extrema para estimular la ingestión de alimento, secreción de glucocorticoides, reducir la actividad tiroidea, gasto energético, síntesis proteica y bloqueo de la reproducción. Sin embargo, este descenso podría compensarse con un incremento en la cantidad de receptores (o su sensibilidad) en algunos tejidos, como sistema de asegurar las prioridades fisiológicas para la supervivencia individual o de la especie (Chilliard *et al.*, 2001). Cuando la producción de leptina aumenta se produce un incremento del tamaño de los adipocitos y/o de la cantidad de lípidos corporales, esto se traduce generalmente en una disminución de la cantidad de nutrientes disponibles para el tejido adiposo, así como en modificaciones hormonales que disminuyen la lipogénesis y la síntesis de leptina, y/o aumenta la lipólisis en los tejidos. La leptina parece inhibir por sí misma la lipogénesis y estimular la lipólisis, frenando su propia producción, lo que permite evitar fluctuaciones muy bruscas del sistema (Figura 2). Estos diferentes bucles de regulación permiten un autocontrol de la deposición lipídica y, por contra, sus desarreglos conducen a diferentes formas de obesidad (Chilliard *et al.*, 2001). Así, la leptina podría ser uno de los nexos entre factores nutricionales actuales y pasados, y las regulaciones fisiológicas a corto y largo plazo. La

adiposo y perirrenal en terneros (Ren *et al.*, 2002). También se ha estudiado si la leptina plasmática depende del sexo, siendo mayor en novillas que en terneros (Ehrhardt *et al.*, 2000; Brandt *et al.*, 2007), que depositan grasa antes.

Los estudios realizados hasta el momento en terneros en crecimiento (Erhardt *et al.*, 2000; Block *et al.*, 2003; Geary *et al.*, 2003; Bellmann *et al.*, 2004) reflejan el incremento de la leptina con la edad debido al incremento de deposición de tejido graso. Existe una relación curvilínea entre la leptina y la edad, que refleja una reducción de la deposición de tejido magro y un incremento en la tasa de deposición de grasa a medida que el animal se aproxima a su tamaño adulto, ya que los nutrientes se dirigen principalmente hacia la lipogénesis. De hecho, cuando los terneros reciben dietas con bajo contenido energético y la grasa corporal permanece constante, la leptina no se incrementa (Block *et al.*, 2003).

Debido a las relaciones encontradas entre la leptina plasmática y el tamaño de los adipocitos (Ehrhardt *et al.*, 2000; Bellmann *et al.*, 2004) se ha intentado usar la leptina para predecir el contenido de grasa en la canal y de grasa intramuscular. Sin embargo, los resultados obtenidos hasta el momento no son concluyentes. Se han encontrado relaciones entre la leptina plasmática y la grasa total de la canal (Ehrhardt *et al.*, 2000; Block *et al.*, 2003), grasa pélvico-renal (Geary *et al.*, 2003; McFadin *et al.*, 2003; Brandt *et al.*, 2007), grasa subcutánea (Geary *et al.*, 2003) y grasa intramuscular (Minton *et al.*, 1998). Sin embargo, estas diferencias no son constantes entre los diferentes estudios. Según Brandt *et al.* (2007) la contradicción en los resultados obtenidos en los diferentes estudios puede ser atribuida a un punto de inflexión en la adiposidad subcutánea a partir de la cual la concentración de leptina comienza a disminuir. La meseta en la concentración de leptina puede deberse a la saturación de los receptores de la leptina y la excesiva concentración de leptina en el torrente sanguíneo, a la resistencia a la leptina cuando los niveles de engrasamiento son elevados, o a ambas. Otra hipótesis es que en función de la cantidad de tejido adiposo corporal, se cambia la habilidad del cuerpo para regular la secreción de leptina. Cuanto mayor es habilidad del vacuno para transformar los nutrientes en grasa, menor es la regulación a través de la leptina (Bellmann *et al.*, 2004).

En resumen, son múltiples los factores que influyen sobre los rendimientos técnicos del rebaño vacuno de carne y sobre las pautas de crecimiento y desarrollo de los terneros. Además, la influencia de cada uno de estos factores no es independiente, de manera que en condiciones prácticas de producción pueden darse diversas combinaciones cuyas consecuencias sobre los parámetros descritos serán diferentes. Por ello, la obtención de información técnica al respecto es fundamental para que, en una coyuntura productiva dada, los ganaderos puedan valorar la viabilidad de las distintas estrategias posibles

Objetivos

En este contexto general, el objetivo de esta Memoria es analizar la posibilidad de adelantar el destete de los terneros en las explotaciones extensivas de vacuno de carne, reduciendo la duración tradicional de la lactación y adelantando el inicio de la fase de cebo intensivo de los terneros.

Aunque la realización de esta práctica puede influir en diversos aspectos técnico-económicos del rebaño de vacas madres, esta Memoria se centrará específicamente sobre sus repercusiones sobre los terneros, considerando también otros factores de manejo como la raza, la época de parto o el manejo alimenticio en lactación. Por ello, los objetivos específicos de la tesis son:

1. Determinar el efecto de la edad al destete sobre los rendimientos de los terneros durante la lactación y el cebo intensivo, y sobre la calidad de la canal y la carne
2. Estudiar la repercusión de la suplementación de los terneros durante la lactación, sobre sus rendimientos en lactación y cebo intensivo, y sobre la calidad de la canal y la carne
3. Analizar las consecuencias de la edad al destete, la suplementación en lactación y la raza sobre las pautas de crecimiento y deposición de grasa durante el ciclo productivo de los terneros
4. Estudiar el efecto de la edad al destete y de la raza sobre la respuesta fisiológica de adaptación al destete y la reactividad a la presencia humana
5. Evaluar los rendimientos económicos de las diferentes alternativas de manejo estudiadas
6. Definir las pautas de manejo más adecuadas en función de la época de nacimiento (otoño vs. primavera)

Material y Métodos Generales

1. Finca experimental

La finca experimental “La Garcipollera”, propiedad del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria del Gobierno de Aragón, está situada en Bescós de la Garcipollera (Jaca) (42°37’N, 0°30’O), en el Pirineo oscense (Figura 3). Las instalaciones permanentes se encuentran a 945 m de altitud pero se extiende hasta los 2200 m, donde se localizan superficies pastables.



Figura 3. Localización geográfica de la estación experimental de “La Garcipollera”.

El clima es de montaña mediterránea, con inviernos fríos y prolongados y veranos secos y cálidos (Casasús *et al.*, 2002). La precipitación anual media (1999-2006) es de 1059 ± 192 mm con máximos en primavera y otoño - principio de invierno (Figura 4), pudiendo ser durante el invierno en forma de nieve, mientras que en verano suelen presentarse en forma de tormentas, describiéndose épocas de subaridez (Creus, 1983).

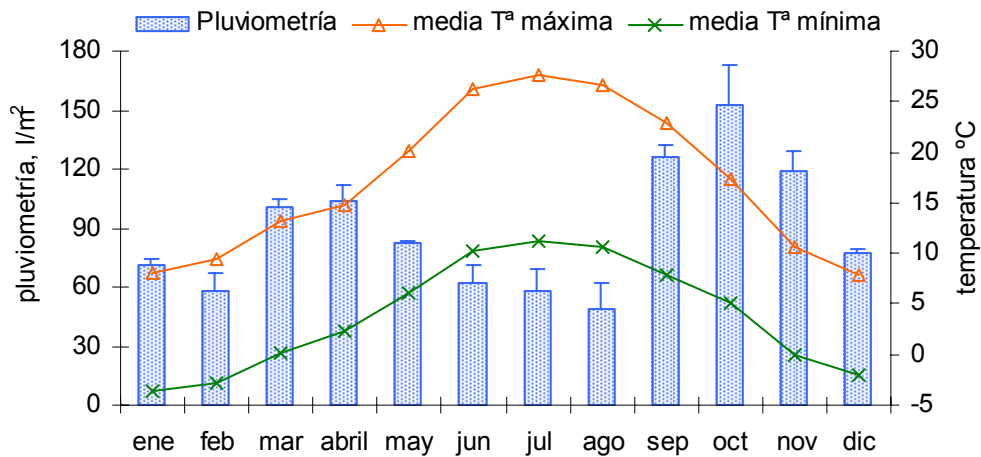


Figura 4. Diagrama ombrotérmico de la estación de Bescós de la Garcipollera correspondiente al periodo 1999-2006 (elaborado a partir de los registros del Instituto Nacional de Meteorología)

Sin embargo, estas características se refieren a las zonas de fondo de valle, ya que en zonas más elevadas se extreman las condiciones climáticas, con mayores pluviometrías y menores temperaturas. Así, en el Pirineo existe un gradiente de temperatura de $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ de altitud (Creus, 1983) por lo que a 2500 m se localiza la isoterma anual de $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Creus, 1989). Además, la pluviometría se incrementa con altitud, registrándose en la estación meteorológica de Candanchú (1550 m) precipitaciones anuales de 1800 mm (Creus, 1989). Consecuentemente, la cantidad de recursos forrajeros varía tanto en cantidad como en calidad a lo largo del año y según la localización.

2. Superficies forrajeras

En la zona de estudio existen tres tipos de superficies forrajeras: prados de fondo de valle, pastos forestales y pastos supraforestales.

Los prados de fondo de valle, en los predominan *Festuca arundinacea*, *Poa pratensis*, *Trifolium repens* y *Dactylis glomerata*, se utilizan tradicionalmente para la producción de heno para el invierno y en momentos puntuales se aprovechan a diente antes de la subida o después de la bajada de puerto (Casasús, 1998).

Los pastos forestales se encuentran entre los 900 y 1500 m y están formados por reforestaciones de *Pinus nigra*, arbustos de *Buxus sempervirens*, *Juniperus communis* y *Genista scorpius*. La cubierta herbácea, formada por *Brachypodium* spp., *Bromus erectus*, *Festuca rubra*, *Carex* spp., y *Aphyllantes monspeliensis*, es del 38%, variando del 15,9 al 89,9% en las diferentes comunidades botánicas (Garín, 1997). La disponibilidad forrajera de estos pastos es muy variable, siendo de media 741 kg MS/ha (8,2% PB, 75,3% FND), con un pico de producción y mayor calidad al final de la primavera.

Los pastos supraforestales (entre los 1500 y 2200 m), compuestos principalmente por *Festuca rubra*, *Festuca skia*, *Bromus erectus*, *Nardus stricta*, y *Trifolium alpinum*, se caracterizan por presentar una mayor disponibilidad de forraje (1900 a 4100 kg MS/ha) pero de baja calidad (7,4% PB, 65,3% FND) (Villalba *et al.*, 1995). Su producción es máxima al final de la primavera, presentando entonces su máxima calidad, y ambas van decreciendo a lo largo del verano (Casasús, 1998). Además, debido a las elevadas pendientes no puede ser segado, siendo únicamente aprovechado en pastoreo por el ganado.

3. Animales

Todos los terneros utilizados en los diferentes ensayos proceden del rebaño experimental de "La Garcipollera", compuesto por 140 vacas nodrizas de raza Parda de Montaña y 60 de raza Pirenaica, formado en 1985. La selección de estas razas para el rebaño experimental se debió a la importancia de su censo en Aragón, en el caso de la

Parda de Montaña, y de su importancia histórica, en el caso de la Pirenaica (Casasús, 1998).

La raza Parda de Montaña proviene de la raza Parda Alpina, que fue introducida hace más de un siglo en España para mejorar la producción lechera de las razas autóctonas existentes, absorbiéndolas en buena medida. En algunas zonas de montaña de España se sigue explotando la raza Parda Alpina fundamentalmente por su aptitud de leche, sin embargo, en el Pirineo se abandona la producción lechera y se orienta su explotación hacia la producción de terneros para su posterior cebo en zonas de valle. Para mejorar las características de crecimiento y peso al destete de los terneros se han desarrollado planes de mejora genética en el Pirineo catalán, recibiendo el nombre de raza Bruna dels Pirineus (Piedrafita *et al.*, 1993). En el Pirineo aragonés también se seleccionó para la producción de carne reconociéndose como raza Parda de Montaña y aprobándose su libro genealógico en el año 2004 (Orden APA/17/2004, de 7 de enero).

La raza Pirenaica es una raza autóctona del norte de España con libro genealógico desde 1905, que originalmente se explotaba por su triple aptitud carne-leche-trabajo. Debido a la introducción de razas más lecheras tuvo serias amenazas de desaparición en los años 1950-60, quedando casi extinguida en el País Vasco, con únicamente 40 vacas en Guipúzcoa y 1500 en Navarra (Echeverría, 1975). Sin embargo, un programa de fomento, conservación y mejora de la Diputación Foral de Navarra evitó su desaparición, y además, el Ministerio de Agricultura contribuyó en 1974 a su conservación creando el Centro Nacional de Selección y Reproducción de Movera (Zaragoza), donde se evalúan toros de raza Pirenaica. Actualmente ocupa un lugar importante entre las razas productoras de carne con 23 000 vacas inscritas en el libro genealógico (Mendizábal *et al.*, 2005). En Aragón, según el II Catálogo Aragonés de Buenas Prácticas Ambientales, el censo de vacas de raza Pirenaica inscritas en el libro genealógico pasó de 109 en 1985 a 1500 en 2007.

4. Manejo general del rebaño

El manejo del rebaño experimental se corresponde con el usado tradicionalmente en las zonas de montaña pirenaicas, con una fase de estabulación invernal prolongada y un periodo de pastoreo en puerto durante el verano y unas épocas intermedias de pastoreo en áreas boscosas o prados de fondo de valle (Casasús *et al.*, 2002).

El rebaño principal se encuentra dividido en dos rebaños según la época de parto, en primavera (febrero-abril) y en otoño (octubre-mediados de diciembre), y por lo tanto, su manejo difiere en función de la época de parto.

Tradicionalmente, las vacas con parto en otoño se estabulan antes del parto (a finales de septiembre) y permanecen estabuladas durante toda la lactación hasta el inicio del periodo de pastoreo de primavera (mediados de abril) (Figura 5), momento en el cual se destetan los terneros, a una edad aproximada de 5 meses de edad. En primavera las

vacas pastan en zonas boscosas y a mediados de junio son trasladadas a puertos de montaña donde permanecen hasta mediados de septiembre, cuando tiene lugar la bajada de puerto y desde este momento hasta el siguiente parto permanecen en prados de fondo de valle. Las cubriciones se realizan por monta natural con toros, que permanecen con las vacas durante 3 meses (15 diciembre-15 marzo).

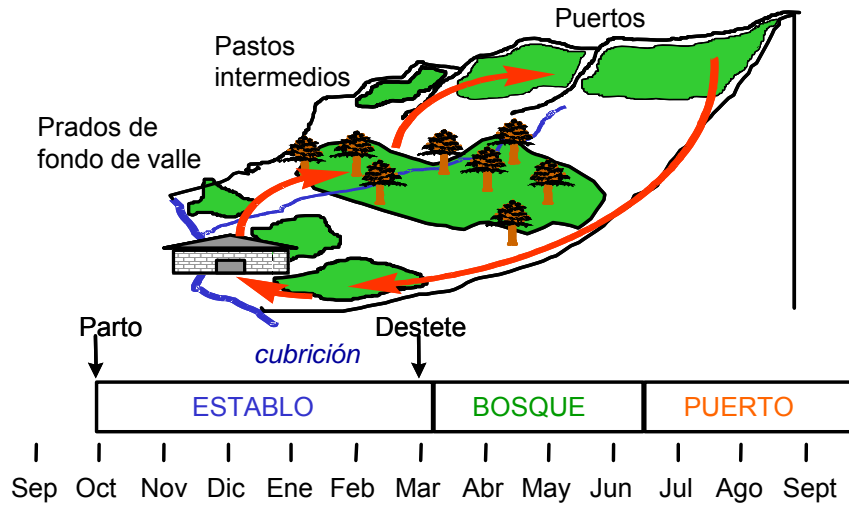


Figura 5. Manejo del rebaño con parto en otoño

Las vacas con parto en primavera permanecen estabuladas desde finales de diciembre hasta junio, cuando son trasladadas a puertos de montaña donde pastan todo el verano junto a sus terneros (Figura 6). A la bajada de puerto los terneros son destetados, a una edad aproximada de 6 meses. Tras la bajada de puerto, las vacas pastan en áreas boscosas hasta la nueva estabulación. Las cubriciones se realizan por monta natural durante la primavera (marzo a junio).

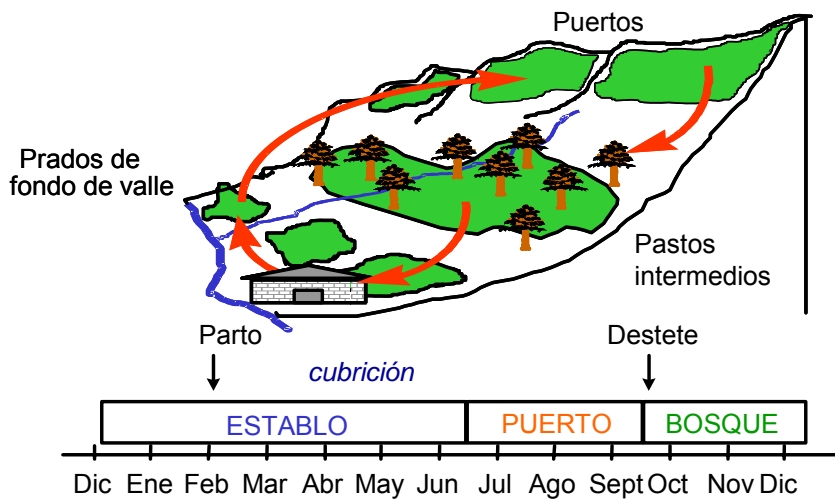


Figura 6. Manejo del rebaño con parto de primavera

Las novillas se recrían en las instalaciones del CITA en Zaragoza. En invierno permanecen en estabulación libre y el resto del año pastan en praderas de regadío, con suplementación de cereales cuando el aporte de forraje no cubre sus necesidades de crecimiento y desarrollo.

5. Ensayos de la tesis

Con objeto de evaluar el efecto de la edad al destete, la suplementación durante la lactación y la raza sobre los diferentes parámetros que abarca este estudio, se plantearon 4 ensayos repartidos en las 2 épocas de nacimiento de los terneros, analizándose los datos según los distintos manejos realizados sobre los terneros (Figura 7).

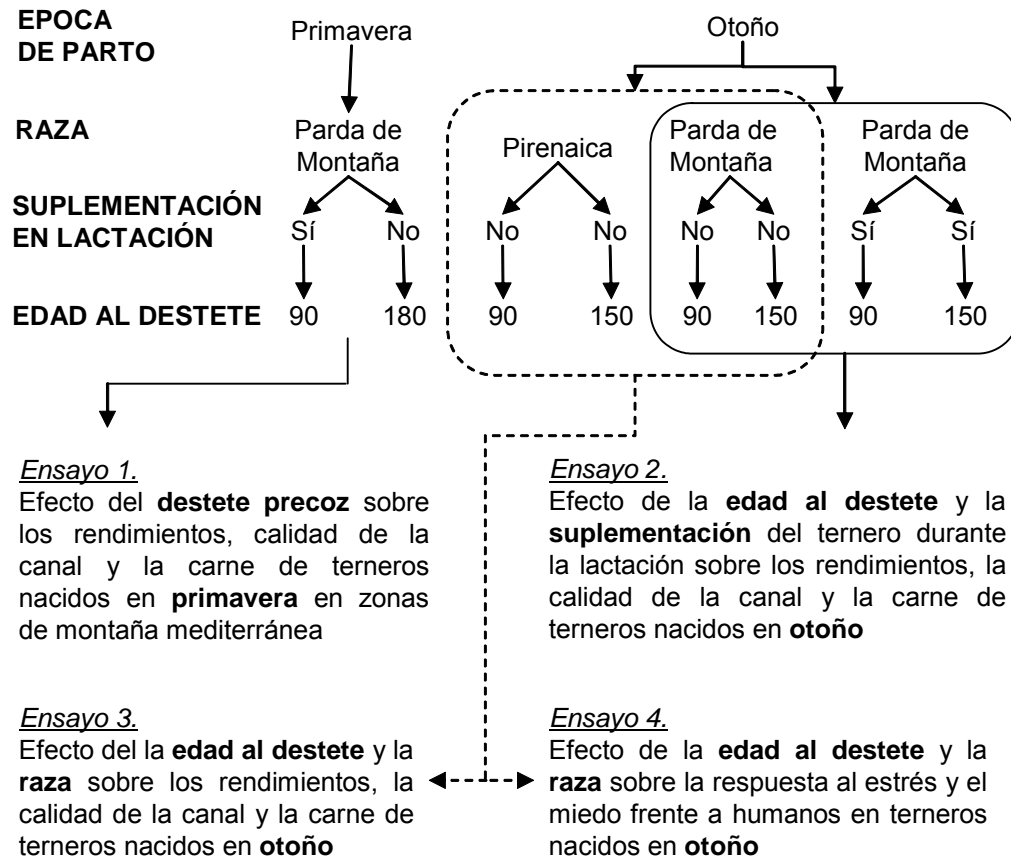


Figura 7. Esquema de los ensayos realizados en la tesis

Para la realización de los ensayos se contó con un rebaño con parto de primavera, formado por 30 vacas de raza Parda de Montaña, y con un rebaño con parto de otoño, formado a su vez por 60 vacas de raza Parda de Montaña y 27 de raza Pirenaica. En la época de nacimientos de primavera se estudió el efecto de la edad al destete, precoz (día 90) vs. tradicional (día 180) sobre los rendimientos técnico-económicos, calidad de la canal y la carne de los terneros de raza Parda de Montaña (Ensayo 1).

En la época de nacimientos de otoño se realizaron dos estudios simultáneos. En el primero se determinó el efecto de la edad al destete, precoz (día 90) vs. tradicional (día 150) y la suplementación en lactación (con vs. sin) sobre los rendimientos técnico-económicos, deposición de tejido magro y graso y calidad de la canal y carne en terneros de raza Parda de Montaña (Ensayo 2). En el segundo se compararon los mismos parámetros en los terneros de raza Parda de Montaña y Pirenaica destetados precoz (día 90) o tradicionalmente (día 150) (Ensayo 3). Además en estos terneros se analizó la respuesta al estrés producido por destete y el miedo frente a humanos (Ensayo 4).

Ensayo 1. Efecto del destete precoz sobre los rendimientos, calidad de la canal y la carne de los terneros nacidos en primavera en zonas de montaña Mediterránea.

En este ensayo se utilizaron únicamente los terneros machos (n = 16) nacidos en primavera en la finca experimental “La Garcipollera” y se analizaron sus rendimientos productivos en función de la fecha de destete. Los terneros se asignaron al nacimiento de manera aleatoria a dos fechas de destete, destete precoz el día 90 o tradicional el día 180.

Todos los terneros y vacas permanecieron estabulados en parques separados según el lote durante los primeros 90 días de la lactación. Las vacas recibieron 12 kg/d de una dieta completa comercial (8,6 MJ EM/kg MS, 12,49% PB, 22,48% FB), para cubrir sus necesidades de mantenimiento y una producción lechera estimada de 9 kg/d. La dieta comercial estaba compuesta por heno de alfalfa (30%), paja de cebada (24%), cebada (16%), gluten feed (8.4%), pulpa de cítricos (6%), palmiste (6%), melaza de caña (6%), girasol (3%) y completos vitamínicos-minerales (0,6%).

Los terneros permanecieron en cubículos adyacentes a los parques de sus madres, teniendo acceso restringido a sus madres dos veces al día, una a las 8:00 y otra a las 15:00 horas, siendo este el manejo típico en estas zonas de montaña. Los terneros que iban a ser destetados precozmente recibieron pienso de iniciación B0 (Tabla 1) en lote durante toda la lactación. A los 75 días de edad, los terneros fueron vacunados contra RSV, PI3, and *Mannheimia (Pasteurella) haemolytica* (Bovipast RSP®, Intervet, Milton Keynes, Reino Unido), IBR (Ibraxion®, Merial, Lyon, Francia) y *Chlostridium perfringens* (Polibascol®, Schering-Plough, Kenilworth, EE.UU.).

Al llegar al día 90 (mediados de junio), los terneros del lote del destete precoz fueron destetados y alojados en un parque de un cebadero comercial de la cooperativa SCLAS en Aínsa (42°24'N, 0°09'E, 589 m). Estos terneros recibieron pienso de crecimiento B1 (Tabla 1) y paja de cebada a voluntad. Por otro lado, las madres de los terneros destetados precozmente, ya secas, y las vacas y terneros del lote destetado tradicionalmente pasaron a pastar en puerto. La fase de pastoreo libre se extendió durante todo el verano y al llegar el día 180, los terneros de lote destetado tradicionalmente fueron recogidos de los pastos y estabulados.

Los terneros de ambos tratamientos fueron alojados en el mismo cebadero, donde fueron sometidos un programa comercial de alimentación intensiva con pienso y paja a voluntad. A lo largo del cebo se redujo el contenido proteico mientras se incrementaba el contenido energético del pienso. Concretamente, desde el día 180 hasta los 400 kg PV recibieron el pienso de crecimiento B1. Desde los 400 a los 450 kg se suministró a los terneros el pienso B2 (Tabla 1) y desde ese último peso al sacrificio, el pienso de finalización B3 (Tabla 1).

Tabla 1. Composición de los piensos administrados a los terneros en los distintos Ensayos

	Pienso B0	Pienso B1	Pienso B2	Pienso B3	Pienso R1	Pienso R2
Ingredientes (%MS)						
Maíz	34	20	23	30	30	32
Cebada	28	28	23	16,3	27,3	23,5
Gluten feed	-	10	15	8	10	12
Trigo	-	8	8	15	-	-
Soja 44%	19,7	8	5,6	5,1	14	9,4
Soja fullfat 3600	-	5	5,4	4,7	-	-
Salvado	8,0	-	-	-	-	-
Tercerillas	-	8	8	6,8	5,2	8,4
Harina de girasol	-	5	5	3		
Pulpa de remolacha	-	-	-	-	8	10
Melaza de caña	-	2	2	6,7	2	-
Suero lácteo	12	-	-	-	-	-
Composición química						
PB, %	17,5	16	15	15	14,9	13,7
GB, %	4,5	4,2	5,4	5,9	3,7	4,9
Almidón, %	39,2	37,6	37,7	38,3	35,6	35,8
Ca, %	0,7	0,8	0,7	0,7	0,76	0,80
P, %	0,7	0,5	0,5	0,5	0,87	0,78
EM, MJ/kg MS	11,55	11,7	11,9	12,3	11,47	11,65

Al alcanzar la edad de 1 año, los terneros fueron sacrificados en un matadero comercial certificado (MercaZaragoza, Zaragoza, España). Para minimizar el estrés previo al sacrificio, los terneros fueron transportados en camión sin mezcla de animales entre lotes, y posteriormente fueron sacrificados y faenados según las prácticas comerciales.

Además de los datos analizados en esta Tesis, se han obtenido datos de rendimientos de las vacas y se ha evaluado el efecto del destete precoz sobre ellos conjuntamente con los de los terneros, quedando recogidos en los siguientes trabajos:

- **Blanco, M., Sanz, A., Ripoll, G., Albertí, P., Casasús, I.** 2004. Effet du sevrage précoce sur les performances à l'engraissement des veaux produits en conditions de montagne. 11^{èmes} Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, Paris. p 242
- **Blanco, M., Sanz, A., Bernués, A., Revilla, R., Casasús I** 2005. Efecto del destete precoz sobre los rendimientos técnico-económicos de los sistemas de producción de terneros en condiciones de montaña. Información Técnica Económica Agraria 26, 213-215.
- **Blanco, M., Villalba, D., Sanz, A., Revilla, R., Casasús, I.** 2005. Association entre le taux de croissance et les niveaux plasmatiques d'IGF-1 dans des veaux sevrés a différent âge. 12^{èmes} Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, Paris. p 210.
- **Blanco, M., Sanz, A., Bernués, A., Revilla, R., Casasús, I.** 2006. Efecto del destete precoz sobre los rendimientos técnico-económicos de los sistemas de producción de terneros en condiciones de montaña. FEAGAS 29: 81-83.

Ensayo 2. Efecto la edad al destete y la suplementación del ternero durante la lactación sobre los rendimientos, calidad de la canal y la carne de terneros nacidos en otoño

Para la realización de este ensayo se utilizaron 28 vacas y sus terneros machos de raza Parda de Montaña, analizándose los rendimientos productivos de los terneros en función de la fecha de destete y la suplementación de concentrado durante la lactación a los terneros. Al nacimiento, los terneros fueron asignados a dos edades de destete, precoz (día 90) o tradicional (día 150) y dos estrategias de suplementación durante la lactación, con o sin pienso de iniciación, existiendo 4 estrategias de manejo diferente.

Las vacas y terneros permanecieron estabulados durante toda la fase de lactación en parques diferentes para cada estrategia de manejo. Durante toda la fase de lactación (90 ó 150 días, según la fecha de destete), las vacas se mantuvieron en estabulación libre y se alimentaron en lote con 11 kg del mismo alimento comercial descrito en el Ensayo 1. Desde el día 90, las vacas cuyos terneros se destetaron precozmente pastaron en zonas forestales recibiendo suplementación, 7 kg del mismo alimento recibido en la lactación, durante 35 días debido a la escasez de recursos forrajeros por no haberse iniciado el crecimiento vegetativo.

Los terneros permanecieron en cubículos adyacentes a los parques de sus madres y permitiéndoseles lactar de manera restringida, durante 30 minutos dos veces al día. Los terneros de los lotes que recibían suplementación durante la lactación recibieron pienso

de iniciación B0 (Tabla 1) en lote durante toda la lactación. Los terneros recibieron el mismo programa de vacunación que el recibido por los terneros en el Ensayo 1.

Tras el destete los terneros se trasladaron al CITA - Gobierno de Aragón (41° 43' N, 0° 48' O; 225 m), donde se alojaron en una nave para ser cebados de manera intensiva con pienso y paja a voluntad hasta un peso vivo de sacrificio de 450 kg (categoría añojo). Desde el destete hasta que los terneros alcanzaron los 350 kg, se les suministró de manera individual pienso de crecimiento R1 (Tabla 1), y desde los 350 kg al sacrificio recibieron un pienso de finalización R2 (Tabla 1).

Con los datos correspondientes al efecto de la edad al destete y la suplementación sobre los rendimientos técnico-económicos de las vacas y los terneros se elaboró el siguiente trabajo:

- **Blanco, M., Sanz, A., Bernués, A., Revilla, R., Casasús, I.** 2006. Effect of early weaning and calf supplementation on cow and calf performance in dry mountain areas. 57th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Antalia, Turquía, p. 76. Best Paper Award of the Management and Health Commission.

Ensayo 3. Efecto de la edad al destete y raza sobre los rendimientos, calidad de canal y carne de los terneros nacidos en otoño

En este ensayo se estudió el efecto de la edad al destete sobre el crecimiento y desarrollo de terneros machos de raza Parda de Montaña (n = 14) y Pirenaica (n = 14) nacidos en otoño. Además se analizó la calidad de la canal y la carne, completándose el ensayo con un estudio económico. Al nacimiento se asignaron aleatoriamente los terneros y sus madres al destete precoz (día 90) o tradicional (día 150).

Desde el nacimiento de los terneros hasta su destete, las vacas y terneros permanecieron estabulados. Se asignó un parque diferente para cada raza y edad de destete. Durante toda la fase de lactación (90 ó 150 días, según la fecha de destete), las vacas se mantuvieron en estabulación libre y se alimentaron en lote con la misma dieta comercial completa del Ensayo 1. Se estableció una ración para las vacas diferente para las dos razas en función de sus características zootécnicas (Casasús, 1998), puesto que aunque su peso al parto es similar (580 kg), la producción lechera media es superior en la raza Parda de Montaña que en la Pirenaica, por lo que las vacas de raza Parda de Montaña recibieron 12 kg de la dieta comercial compuesta y las de raza Pirenaica recibieron 11 kg.

Ningún lote de terneros recibió pienso de iniciación durante la lactación. La alimentación recibida por los terneros desde el destete al sacrificio y el criterio de sacrificio fueron los mismos que en el Ensayo 2.

Con los datos correspondientes a los rendimientos de las vacas y los terneros se han elaborado los siguientes trabajos:

- **Casasús, I., Blanco, M., Sanz, A., Bernués, A., Revilla, R.** 2006. Considerations on the impact of early weaning of fall-born beef calves on system efficiency and potential use of pastures. En: Biala, K., Nösberger, J., Parente, G. y Peeters, A. (eds.) Quality production and quality of the environment in the mountain pastures of an enlarged Europe. 285-294. ERSA-Agenzia Regionale per lo Sviluppò Rurale.
- **Casasús, I., Blanco, M., Sanz, A., Bernués, A., Revilla, R.** 2007. Consecuencias técnicas del destete precoz de los terneros nacidos en otoño sobre los rendimientos del rebaño en sistemas extensivos. Información Técnica Económica Agraria 28: 315-317.
- **Casasús, I., Blanco, M., Sanz, A., Bernués, A., Revilla, R.** 2007. Manejo de los terneros en los sistemas extensivos de producción: consecuencias técnicas y económicas del destete precoz de los terneros nacidos en otoño. Ganadería 46: 22-29.
- **Casasús, I., Blanco, M., Sanz, A., Bernués, A., Revilla, R.** 2007. Consecuencias económicas del destete precoz de los terneros nacidos en otoño para distintos tipos de explotaciones de vacuno. Información Técnica Económica Agraria 28: 318-320.

Ensayo 4. Efecto de la edad al destete y la raza sobre la respuesta fisiológica de estrés y el miedo frente a humanos en terneros nacidos en otoño

La evaluación del efecto de la edad al destete y la raza sobre el estrés provocado por el estrés y el miedo a humanos se realizó sobre los terneros del Ensayo 3. Así se utilizaron terneros destetados precozmente (d 90) y de manera tradicional (d 150) y dos razas, la raza Parda de Montaña y la Pirenaica.

Al llegar a la edad de destete fijada, los terneros se separaron definitivamente de las madres, siendo alojados durante una semana en una nave contigua en la cual no tenían acceso visual ni auditivo. Posteriormente se trasladaron a una nave convencional de cebo intensivo en el CITA, donde estuvieron alojados hasta su sacrificio a los 450 kg.

6. Controles y medidas realizados en los distintos ensayos

6.1. Rendimientos

➤ *Pesos de los animales*

- Los terneros se pesaron semanalmente a las 8:00 de la mañana en ayunas durante la lactación y cebo. En los terneros nacidos en primavera, se realizó una doble pesada a la salida a puerto (d 90) y otra a la bajada de puerto (d180).

La ganancia media diaria se calculó por regresión a partir de los pesos.

➤ *Producción de leche de las vacas*

- En el Ensayo 2 se estimó la cantidad de energía ingerida por el ternero según la ingestión de leche. El INRA (1981) asume que 1 kg de leche corregida al 4% de grasa tiene un contenido energético de 3,14 MJ EM/kg. Para corregir la producción de leche de la vaca al 4% se utilizó la fórmula de Gaines:

$$\text{kg leche (4\%)} = \text{kg leche} \times (0,4 + 0,15 \times \%grasa)$$

- Existen diferencias raciales en la cantidad y composición de la leche (Sanz *et al.*, 2003) por lo que para comparar la ingestión de leche de los terneros de ambas razas (Ensayo 3), se corrigió la producción de leche al 3,5% grasa y 3,2% proteína con la fórmula oficial para la leche corregida en energía.

$$\text{kg leche corregida} = \text{kg leche} \times \frac{\%grasa + \%proteína}{6,7}$$

➤ *Ingestión de alimentos*

Durante el cebo de los terneros, la ingestión de pienso se registró diariamente.

- En los terneros nacidos en primavera el control de la ingestión fue por lote (Ensayo 1).
- En los terneros nacidos en otoño (Ensayos 2 y 3), el control de la ingestión fue individual mediante estaciones de alimentación ALPRO (Alfa Laval Agri, Tumba, Suecia). En este sistema cada animal se identifica de forma electromagnética con un collar transmisor/receptor, y la instalación consiste en una estación de alimentación con un distribuidor de pienso, un lector para la identificación de cada individuo, y un controlador de consumo de cada animal. La información recibida de la estación se gestiona en un procesador del sistema que indica la cantidad de pienso consumida diariamente por cada ternero. Con los datos diarios individuales se calculó la ingestión diaria cada mes y también la eficiencia en cebo. También se calculó la ingestión por kg de peso metabólico total del cebo y mensual.

6.2. Parámetros séricos relacionados con la deposición de tejido magro y graso

Para determinar la concentración sérica de IGF-I y leptina se tomaron muestras de sangre a las 8:00. En cada muestreo se extrajeron dos muestras por ternero de la vena caudal, que se desuero durante 24 horas y posteriormente se congelaron dos alícuotas de suero para el posterior análisis. La concentración de IGF-I se determinó con un kit comercial EIA (IDS OCTEIA® IGF-I) y la concentración de leptina con un EIA competitivo validado para vacuno (Sauerwein *et al.*, 2004). Se tomaron muestras de sangre:

- los días 45, 90, 180, 210, 240, 270, 300, 330 y 360, a los terneros nacidos en primavera (Ensayo 1)
- mensuales a los terneros nacidos en otoño (Ensayos 2 y 3)

6.3. Calidad de la canal

- Para determinar el rendimiento canal se registraron los pesos en vivo en el día de sacrificio y también los de la canal caliente tras el faenado. Para obtener el peso canal fría se le descontó un 2% al peso canal caliente.
- Se valoraron visualmente el estado de engrasamiento en una escala de 1 a 5 y la conformación de la canal según la escala SEUROP (R. CEE nº 2930). La escala de engrasamiento se transformó en una escala 1-15 y la de la conformación en una escala 1-18 para su análisis estadístico.
- Se midió el color de la grasa con un espectrofotómetro (Minolta CM-2600d). Se realizaron tres mediciones sobre la grasa subcutánea que recubre la 10ª costilla evitando zonas poco cubiertas, libres de burbujas y manchas de sangre. Se obtuvieron valores de luminosidad (L^*), índice de rojo (a^*) e índice de amarillo (b^*) (Albertí *et al.*, 2005).

6.4. Calidad de la carne

Se cortó de la 4ª a la 11ª costilla de la canal izquierda para extraer el músculo *Longissimus dorsi* (L.D.) y realizar la evaluación de las características de la carne.

- Para la medir el pH de la carne a las 24 horas se utilizó un filete de 2 cm. Una vez realizada la medición, el filete se picó y liofilizó. A partir del peso antes y después de la liofilización se calculó la materia seca. Tras la liofilización de la muestra, se procedió a su molienda para determinar la proteína según el método Dumas (AOAC, 1995) y la grasa según el método Ankom (AOCS, 2004).
- Para la valoración de la textura de la carne se empleó un filete 3,5 cm, que fue envasado al vacío y madurado durante 7 días. Posteriormente, se coció en un baño de agua (75 °C), hasta alcanzar una temperatura interna de 70 °C durante 45 minutos (Honikel, 1998). Cuando se enfrió el filete se hicieron un mínimo de 10 tacos en forma de prisma 1×3×3 siguiendo la dirección de las fibras. Cada taco fue cortado perpendicularmente por una célula Warner-Bratzler con un equipo Instron (modelo 5543), obteniéndose medidas de carga (kg) y dureza (kg/cm^2).
- Para la medición del color de la carne se colocó un filete de 2,5 cm en una bandeja de plástico, que se envolvió con film permeable al oxígeno, manteniéndose refrigerado a 4 °C hasta 7 días después del corte. Se realizaron medidas con el espectrofotómetro al momento del corte, 15 minutos, 4 y 24 horas, 2, 5 y 7 días cambiando el lugar de medida en cada ocasión (Albertí *et al.*, 2005).
- La determinación del perfil de ácidos grasos de la carne se realizó según el método descrito por Tor *et al.* (2005) modificado para carne de vacuno, al cuantificarse los

ácidos grasos mediante la incorporación del estándar interno, 1,2,3-Tritridecanoylglicerol (tritridecanoin C13:0), a cada muestra.

6.5. Estudio económico

En los Ensayos 2 y 3 se realizó un estudio económico para comparar las diferentes alternativas de manejo testadas. Para ello se consideraron únicamente las variables técnicas que variaban y por tanto modificaban los costes e ingresos asociados a cada alternativa. Para el cálculo de los costes se consideraron los precios de los alimentos cobrados por los diferentes proveedores; y para el de los ingresos, el precio canal según la cotización en la Lonja Agropecuaria del Ebro, considerando además la conformación.

- Así, en el Ensayo 2 varía la alimentación aportada a la vaca y su estancia en el establo según la edad del ternero al destete, la cantidad de pienso ingerida por los terneros en las diferentes fases del ciclo de producción y la permanencia en establo según la suplementación o no durante la lactación y según su edad al destete. Todos estos factores pueden hacer variar los costes totales asociados a cada alternativa. Por otro lado, el peso canal y por lo tanto los ingresos derivados de la venta pueden ser modificado por el manejo del ternero.
- En el Ensayo 3, el peso al destete, la cantidad de pienso consumida por los terneros y la duración del cebo puede presentar variaciones según la edad al destete y la raza y por lo tanto los costes asociados a estas variables. Además puede diferir el peso canal y la conformación y por consiguiente los ingresos.

6.6. Respuesta al estrés

Se tomaron 3 muestras de sangre por ternero de la vena yugular, 168 horas antes del destete (muestra basal), 4, 24 y 48 horas y 168 horas tras el destete. Todas las muestras, excepto la de las 4 horas post-destete, se extrajeron a las 8:00 h.

- Para la determinación del cortisol plasmático se extrajo una muestra en un tubo de extracción al vacío con EDTA, que se centrifugó durante 12 minutos a 3000 g en una centrífuga refrigerada (4 °C). Tras la centrifugación, se extrajo el plasma y se congeló (-20 °C) hasta su posterior análisis mediante un EIA validado en bovino (Chacón *et al.*, 2004).
- Para medir la concentración de fibrinógeno en el plasma se extrajo una muestra en un tubo de extracción al vacío con citrato sódico. Tras la centrifugación durante 12 minutos a 3000 g en una centrífuga refrigerada (4 °C), se extrajo el plasma y se congeló (-20 °C) hasta su análisis. Se determinó la concentración de fibrinógeno midiendo los cambios en la densidad óptica durante la formación del precipitado tras la activación con trombina, para lo cual se utilizó un set de Pacific Hemostasis en un coagulómetro Clot-SP®.

- Para obtener el número de células blancas, células blancas diferenciadas (neutrófilos, linfocitos, monocitos, eosinófilos y basófilos), y células totales rojas, hematocrito y hemoglobina se utilizó un contador de células (Hemavet[®] 850 Sistema hematológico automático multiespecies, CDC Technologies, Inc.), a partir una muestra obtenida en un tubo de extracción al vacío con EDTA.
- Para medir el miedo frente a los humanos se realizó un test de huida (Burrow, 1997) a los terneros en dos ocasiones, 3 y 6 meses tras el destete. El test se hizo en dos días consecutivos y consistió en medir el tiempo que tardaba cada ternero en recorrer una distancia de 1,7 m al salir de una báscula. La velocidad de huida se calculó a partir a partir de este tiempo.

6.7. Análisis estadístico de los datos

Los datos obtenidos en los diversos ensayos se analizaron con el paquete estadístico SAS (SAS, 1990).

Los datos de pesos, ganancias de peso, ingestión y eficiencia en cebo, concentraciones de IGF-I, leptina, cortisol, fibrinógeno, número de células blancas, rojas, hematocrito, hemoglobina y velocidad de huida se analizaron mediante modelos lineales generalizados con medidas repetidas de los diferentes controles (Procedimiento Mixed) con una matriz de covarianza no-estructurada. En todos los ensayos se consideró como efecto aleatorio el animal. Los efectos fijos, variaron según los ensayos y cuando un efecto fijo no era significativo se eliminó del modelo. Así, los efectos fijos fueron:

- En el Ensayo 1: la edad al destete y el control y su interacción
- En el Ensayo 2: la edad al destete, la suplementación en lactación, el control y sus interacciones
- En los Ensayos 3 y 4: la edad al destete, la raza, el control y sus interacciones

Los datos económicos, de calidad de canal y carne se analizaron mediante modelos lineales generalizados (Procedimiento GLM). Se consideraron como efectos fijos los mismos que en el análisis de medidas repetidas exceptuando el control. Los efectos no significativos se eliminaron de los modelos usados para cada variable.

En ambos análisis estadísticos (Mixed y GLM) se obtuvieron las medias mínimo-cuadráticas y el error estándar de la diferencia, y posteriormente se realizó la prueba de separación de medias con un nivel de confianza del 95% de los efectos fijos evaluados.

La relación entre variables se calculó mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Sin embargo, para estudiar las relaciones entre variables categorizadas, como el orden de entrada en el test de velocidad de huida, con otras variables se empleó el coeficiente de correlación de Spearman.

Ensayo 1. Efecto del destete precoz sobre los rendimientos, calidad de la canal y la carne de terneros nacidos en primavera en zonas de montaña mediterránea

Este trabajo ha dado lugar a la publicación **“Effect of early weaning on performance, carcass and meat quality of spring-born bull calves raised in dry mountain areas”**. M. Blanco, G. Ripoll, P. Albertí, A. Sanz, R. Revilla, D. Villalba, I. Casasús. Aceptado para su publicación en Livestock Science DOI: 10.1016/j.livsci.2007.07.012. Disponible on-line desde el 20 de agosto de 2007

Abstract

Sixteen bull calves were born in the Spanish Central Pyrenees in spring. They were either early (EW, 90 d of age) or normal weaned (NW, 180 d of age). At day 90, EW calves were placed on an intensive diet while NW calves were turned out with their dams to high mountain pastures. After summer, at d 180, NW calves were weaned and placed with EW calves on a common finishing diet until slaughter at the fixed age of 1 year. From birth to early weaning date, no performance differences appeared. However, EW calves gained faster (1.549 kg/d) than their unweaned counterparts (0.783 kg/d) from early to normal weaning date ($P < 0.001$). During the finishing period, NW calves showed compensatory growth, with a 44% higher ADG than EW calves ($P < 0.001$), with a similar feed intake and a better feed conversion ratio. Early weaned calves had a longer fattening phase than NW calves (264 vs. 158 d, respectively; $P < 0.001$) and thus total feed intake and feed costs were greater. When slaughtered at 1 year of age, EW and NW calves attained similar weight (489 vs. 510 kg, respectively; ns), but dressing percentage was higher for EW calves (56.9%) than for NW calves (55.2%) ($P < 0.01$), which led EW calves to have heavier carcasses, without differences in fat score or conformation. The different growth paths, resulting of weaning management, did not affect meat tenderness, chemical composition and fatty acid profile, but affected meat lightness, with higher values for compensating calves (NW) than calves in continuous growth (EW). In conclusion, advancing weaning age modified calf performance without affecting substantially carcass characteristics, except for an improvement in dressing percentage, or meat quality.

Keywords: beef cattle; early weaning; performance; carcass quality; meat quality

1. Introduction

Calving in spring and weaning in autumn has been recommended in beef cattle farms located in European mountain areas as the management strategy for the most efficient use of forage resources (Jarrige, 1974). However, in dry Mediterranean mountain conditions, Casasús *et al.* (2002) reported that lactation impaired the recovery of reserves of spring-calving cows during summer grazing, because they prioritised milk production for their offspring. This limited recovery could later have a detrimental effect on reproductive performance (Sanz *et al.*, 2004).

An appropriate choice of weaning dates could be useful to improve the match between herd requirements and forage resources, and in this framework early weaning (EW) of calves has been proposed for a cost-effective use of feed resources (Peterson *et al.*, 1987). The traditional management of spring-born calves in dry mountain areas consists of an indoor nursing period (from birth to mid-June, d 90) and an outdoor nursing period during the summer, when they graze with their dams in high mountain ranges. At the end of the summer (d 180), they are weaned and placed into intensive diets until

slaughter. Early weaning of calves has been reported to improve cow weight gains and reproductive traits (Pordomingo, 2002), as dry cows make a better use of relatively low quality pastures than lactating cows (Casasús *et al.*, 2005). Therefore, calves could be early weaned at d 90, just before cows are turned out to high mountain ranges, to enhance the recovery of body weight and condition score during summer grazing. A better condition at the end of the grazing season may reduce feed requirements, and consequently costs, during the next housing period.

Information on the effect of EW on calf performance is highly variable because essential factors vary depending on the experiment. Weaning age of beef calves ranges from 30 (Richardson, 1979) to 231 days (Myers *et al.*, 1999a). The effect of early weaning is breed-dependent (Myers *et al.*, 1999a). Besides, after early weaning calves may receive different planes and types of nutrition, as they can be placed on pastures (Pordomingo, 2002) or in intensive feedlots (Myers *et al.*, 1999a). Moreover, most of the studies have been performed with steers (Myers *et al.*, 1999a) while few have considered bull calves (Williams *et al.*, 1975), which are the main source of beef supplied to the market both in Spain and in other Mediterranean countries. In addition, slaughter end point varies, therefore EW effect on carcass and meat quality differs.

Therefore, this research was conducted to evaluate the effect of early weaning on performance, carcass and meat quality of spring-born bull calves raised in dry mountain areas.

2. Material and Methods

2.1. Animals and management

La Garcipollera Research Station is located in the mountain area of the central Pyrenees (Spain, 42°37'N, 0°30'W). The spring-calving experimental herd consisted of 30 Parda de Montaña (beef breed coming from old Brown Swiss) cows and their calves. All male calves (n = 16) and their dams were randomly assigned from calving (average calving date 1st of March \pm 23 d) to one of two weaning strategies, either early weaning at d 90 postpartum in June (EW) or normal weaning at d 180 postpartum in September (NW), the latter being the traditional management of the area.

From birth to d 90, all calves and dams were loose-housed. Dams were fed 12 kg of a total mixed ration to meet their nutritive requirements for maintenance and for a milk production of 9 kg per day. The ingredients of the total mixed ration were dehydrated alfalfa, barley straw, ground barley, orange pulp, soya, gluten meal and molasses (8.6 MJ ME/kg DM, 12.5 % CP). Calves were fed on their dams' milk, suckling twice daily for 30 minutes at 8.00 and 16.00 h. Additionally, EW calves received ad libitum supplementation during the indoors lactation period on a pen basis. The main constituents of the commercial starter diet (11.55 MJ ME/kg DM, 17.5% CP) were maize (34%), barley (28%),

soybean meal (17.9%), milk replacer (12%) and bran (8%) with mineral and vitamin supplements.

A differential management was imposed to both weaning treatments from d 90 to d 180. At d 90, EW calves were weaned and transported to a commercial feedlot (SCLAS, Aínsa, Spain), where they received, until d 180, ad libitum barley straw and a commercial concentrate (11.7 MJ ME/kg DM, 16% CP) with barley (28%), maize (20%), gluten feed (10%), soya (9.4%), wheat (8%) and cereal by-products (8%) as main constituents.

On the other hand, NW calves were turned out to high mountain pastures with their dams at d 90 and remained there throughout the summer (June to September), until d 180. These pastures (1500 to 2200 m above sea level) consisted of a 800-ha range of mainly herbaceous vegetation, characterized by a sufficient forage availability (from 1900 to 4100 kg DM/ha in the different areas) but low herbage quality (7.4% CP, 65.3% NDF, on average) (Villalba *et al.*, 1995). At d 180, NW calves were weaned, removed from the pasture and transported to the same commercial feedlot as their EW counterparts.

During the finishing phase (180 d to slaughter at one year of age), all calves remained in the feedlot and followed a commercial feeding program. They received a cereal-based diet and barley straw on an ad libitum basis, where concentrate composition was adjusted to animal requirements, reducing CP content and increasing energy content through the finishing phase. From d 180 until calves reached 400 kg live weight, they received the same concentrate fed to the calves from d 90 to 180. From 400 to 450 kg, the composition of the concentrate was mainly maize (23%), barley (23%) and gluten feed (15%) wheat (8%) and cereal by-products (8%) (11.9 MJ EM/kg DM, 15% CP). From 450 kg to slaughter, the finishing diet compounds were maize (30%), barley (16.3%), wheat (15%), gluten feed (8%), cereal by-products (7.6%) and molasses (7.5%) (12.3 MJ EM/kg DM, 15% CP).

Calves were slaughtered when they reached one year of age (average age at slaughter 362 d) in a commercial abattoir (Mercazaragoza, Zaragoza, Spain). They were transported in a truck for 3 hours on the slaughter day to minimise pre-slaughter stress. Lairage time was 2 hours. Calves remained separated in their treatment groups without being mixed with unfamiliar animals during transport and lairage. The animals were stunned by captive bolt pistol and dressed according to commercial practice.

2.2. Measurements

All individual weights were taken at 8.00 am without withdrawal from feed and water. EW calves were weighed weekly during the whole experiment. NW calves were weighed weekly during the housing period (d 0 to d 90) and the finishing period (d 180 to slaughter), and double weighed at the beginning (d 90) and end (d 180) of the grazing period. These data were used to calculate average daily gain (ADG) for periods 0-90 d, 90-180 d and 180 d-slaughter by linear regression, except for ADG of NW during grazing (90-180 d) that

was calculated as the difference in weight divided by days on pasture. Feed intake was recorded daily in the feedlot period on a treatment basis.

2.3. Slaughter and sampling procedures

Carcasses were weighed after slaughter, and 2% of the carcass weight was subtracted to determine cold carcass weight. After 24 hours chilling at 4° C, carcasses were graded using the European grading system (Directives (ECC) n° 1208/81 and n° 2237/91). Carcass conformation was based on a visual assessment (SEUROPE classification) with a 6-point scale (from 1=poorest, to 6=best). Fatness score was evaluated with a 5-point scale (from 1= leanest, to 5= fattest). Dressing percentage (DP) was calculated as cold carcass weight divided by slaughter live weight, which was obtained the day before slaughter.

Subcutaneous fat colour (CIE L* (lightness), a* (redness), b*(yellowness)) was measured between the 6th and the 11th rib of each left half carcass using a Minolta CM-2600d spectrophotometer. Reflectance measurements were collected from a 10°-viewing angle with Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) illuminant C lighting conditions. Fat colour values were recorded from three locations randomly selected avoiding blood dots, air bubbles and less covered areas (Albertí *et al.*, 2005).

The *longissimus thoracis* muscle between the 6th and the 11th rib of each left half carcass was removed. It was dissected and sliced into steaks for pH, instrumental colour, texture, chemical composition and fatty acid composition analysis.

A 2-cm steak per animal was placed in a polystyrene tray, wrapped with an oxygen permeable film and kept in the dark at 4° C for colour determination. Lean meat colour (CIE L* a* b*) was measured with the spectrophotometer after 7 days of air exposure (Albertí *et al.*, 2005).

A 3.5-cm steak was vacuum packaged and stored in a cooler at 4° C for 8 days of aging for subsequent Warner-Bratzler shear force determination. Steaks were boiled in a water bath (75 °C) to an internal temperature of 70 °C. When steaks cooled off, ten strips were cut with 10x10 mm² cross section with the fibre direction parallel to a long dimension of at least 30 mm (Honickel, 1998). Samples were sheared perpendicular to the long axis of the core using a Warner-Bratzler meat Instron shear machine (Model 5543) with a cross-head speed of 150 mm/min. Values for toughness (energy needed per unit of volume to shear the sample below the shear blade until the point of maximum load) and maximum stress (maximum load per unit of cross section) were determined.

A 2-cm steak was used to measure ultimate pH (24 h) with a Crison pHmeter and to determine the chemical composition. Once pH measurement was done, steaks were minced and freeze-dried. Meat was weighed before and after freeze-drying to calculate dry matter content. The minced samples were ground before protein, ether extract and

ash contents determination. Protein was determined following the Dumas procedure (AOAC, 1995) and fat content following the Ankom procedure (AOCS Am 5-04).

A 2-cm steak was minced for fatty acid analysis. Fatty acid methyl esters were obtained using a solution of boron trifluoride 20% in methanol (Rule, 1997). Analysis of fatty acid methyl esters were performed by gas chromatography with a 30 meter capillary column SP2330 (Supelco, Tres Cantos, Madrid) and a flame ionisation detector with helium as the carrier gas at 1 mL min⁻¹. The oven temperature program increased from 150 to 225 °C at 7 °C per min. Injector and detector temperatures were both 250 °C (Tor *et al.*, 2005). Fatty acids were quantified by incorporating an internal standard, 1,2,3-Tritridecanoylglycerol (tritridecanoin C13:0), into each sample. Proportions of polyunsaturated (PUFA), monounsaturated (MUFA), saturated (SFA) fatty acids and the PUFA:SFA ratio were obtained from individual fatty acid percentages. Hypercholesterolemic and Hypocholesterolemic fatty acids ratio (Hh) was calculated as the sum of myristic (C14:0) and palmitic (C16:0) acids divided by the sum of PUFA and MUFA.

2.4. Statistical analysis

Performance, carcass and meat data were tested by analysis of variance using the GLM procedure (S.A.S., 1990) with weaning treatment (EW vs. NW) as fixed effect. ADG during finishing phase was analysed using the MIXED procedure for repeated measures including weaning treatment and period (month) as fixed effects and animal as the random effect (Littell *et al.*, 1996). Least square means (Ls Means) were estimated and differences between Ls Means were tested with a t-test. Pearson's correlation coefficients between variables were calculated. For all tests level of significance was 0.05.

3. Results and Discussion

3.1. Animal performance

Data from one EW calf were not used as it was removed from the experiment during the finishing phase due to a serious leg injury.

Weaning management affected calf growth paths (Figure 1). From birth to d 90, no difference was observed in calf growth despite the supplementation received by EW calves (Table 1), probably due to the low concentrate intake of such young calves (0.3 kg DM/d). Prichard *et al.* (1989) had already reported that calves receive very little benefit from supplementation before 90 days of age in breeds with a sufficient milk yield potential, which is the case of Parada de Montaña cows (Sanz *et al.*, 2003).

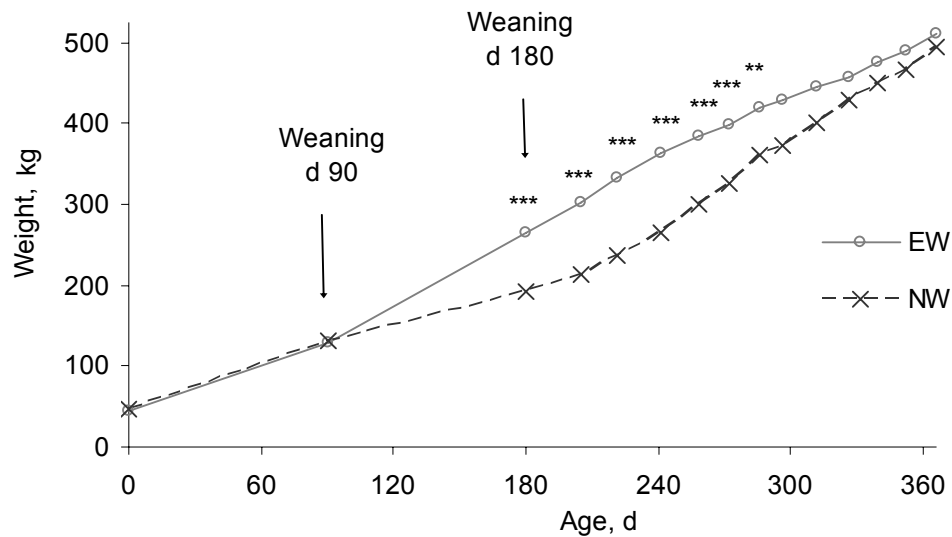


Figure 1. Weight of Early (EW) and Normal Weaned (NW) calves throughout the production cycle. Within a day, means with *** differ at $P < 0.001$ and ** at $P < 0.01$

Table 1. Performance of Early (EW) and Normal Weaned (NW) calves throughout the production cycle

	EW calves	NW calves	s.e.m.	P-value
n	7	8		
Weight, kg				
Birth	44	46	3.8	ns
90 d	129	132	14.6	ns
180 d	302	214	16.7	***
Slaughter	510	489	17.2	ns
Gains, kg/d				
0 – 90 d	0.929	0.897	0.072	ns
90 – 180 d	1.549	0.783	0.073	***
180 d – slaughter	1.245	1.799	0.093	***
Fattening period, d	264	158	11	***
Age at slaughter, d	362	362	2	ns

During the period of differential management (from d 90 to d 180) EW calves, with an average concentrate intake of 5.3 kg DM/d, had a 50% higher ADG than grazing NW calves (Table 1), and therefore EW calves were heavier at d 180 than NW calves (302 vs. 214 kg, respectively, Figure 1). Growth rates (0.783 g/d) of grazing NW calves in the current study agree with previous reports of Parda de Montaña calves grown on low-quality pastures. In these conditions, cow milk production was impaired, and the

compensatory herbage intake of the calf could not assure a maximum growth (Villalba *et al.*, 2000; Casasús *et al.*, 2002). The growth improvement due to early weaning followed by intensive feeding has been reported by several authors (Williams *et al.*, 1975; Myers *et al.*, 1999a; Fluharty *et al.*, 2000; Schoonmaker *et al.*, 2001). In contrast, when EW calves were placed on a low quality diet, grazing pastures with no supplementation, no improvement was observed when compared with their NW counterparts (Pordomingo, 2002).

From d 180 onwards, ADG was inversely related to growth observed in the previous phase, from d 90 to d 180 ($r = -0.84$, $P < 0.001$). A compensatory growth was observed in this phase when NW calves were placed on a finishing diet, showing a 44% higher ADG than EW calves (1.799 vs. 1.245 kg/d, respectively), which allowed them to reach a similar slaughter weight at the same age. During the first month of the finishing phase no differences in growth appeared, with NW calves adapting to the new diet as shown by the lower daily dry matter intake than that of EW calves (8.8 vs. 7.5 kg DM/d, respectively). The following 90 days, NW calves had higher ADG ($P < 0.001$), but it did not differ for the rest of the finishing period (60 d) (Figure 2). Similarly, Barker-Neef *et al.* (2001) reported a greater ADG of NW calves during the first 100 days of the finishing phase and no difference in the last 60 days. Weight compensation was almost complete, as NW calves were only 4.1% lighter at slaughter (ns), as Patterson *et al.* (1995) found in calves restricted in the 13-25 week period and realimented until slaughter compared to continuously growth counterparts.

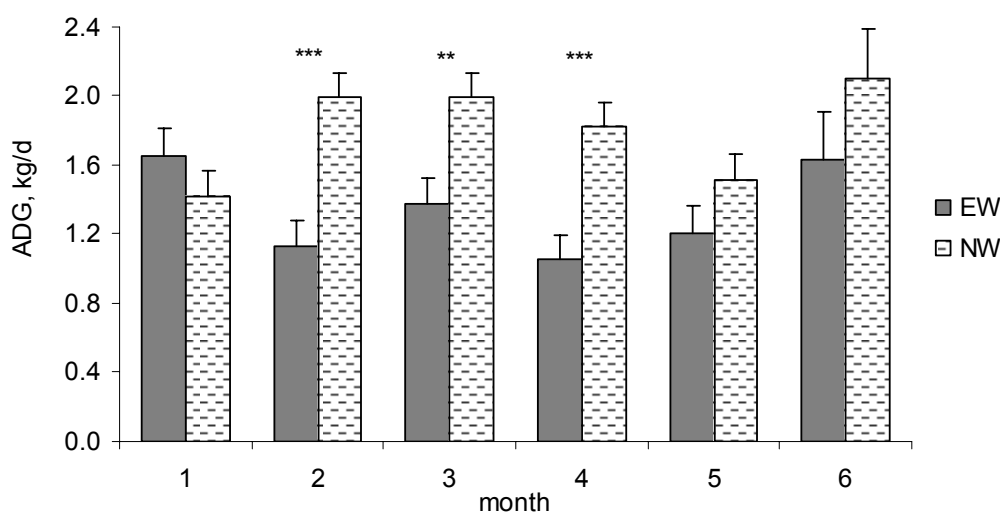


Figure 2. Monthly gains of Early (EW) and Normal Weaned (NW) calves during the finishing phase (180 d - slaughter).

Williams *et al.* (1975) reported analogous growth paths of early- and normal-weaned calves, as Schoonmaker *et al.* (2001) and Meyer *et al.* (2005) did in implanted steers, with varying degrees of compensation. On the opposite, Myers *et al.* (1999c) and

Schoonmaker *et al.* (2004), in implanted steers fed to a target fat thickness, found no differences in growth during finishing between EW and NW steers. The variability of compensatory growth response may be originated in the age at restriction, the severity and the duration of the restriction (Ryan, 1990; Berge, 1991), and such factors are slightly different in the studies commented above. However other factors can be involved, namely Schoonmaker *et al.* (2004) justified different growth paths of EW and NW steers among their studies likely because different implantation strategies were used.

Compensatory growth can take place through reduced maintenance requirements, due to lower live weight and metabolic rates, increased food intake and increased efficiency for growth and fattening and hormonal changes (Hoch *et al.*, 2003). In the current study, NW calves were almost 80 kg lighter than EW ones when they entered the feedlot, and thus their maintenance requirements according to the NRC equations (NRC, 1996) were 33% lower, resulting in more energy available for growth during this phase at a given feed intake.

Moreover, when feed intake was analysed as g DM/kg metabolic weight, NW calves had ca. 13% higher intake than their EW counterparts from the beginning to the fourth month of the finishing phase. The increase of intake in compensating calves varies between 3 to 24% depending on the different development of the digestive tract during the restriction period (Hoch *et al.*, 2003). Furthermore, a better efficiency of feed conversion may have induced the compensatory response of NW calves because feed conversion ratio was better, i.e. lower, for NW calves (5.77 vs. 3.77 kg DM/kg of gain for EW and NW calves, respectively). Similar results had been obtained by Schoonmaker *et al.* (2001) and Meyer *et al.* (2005) with EW and NW steers slaughtered at constant live weight. However, when steers were slaughtered at constant fat thickness, EW steers had lower daily DMI and better feed efficiency than NW steers (Barker-Neef *et al.*, 2001). Concerning hormonal changes of EW and NW calves in the current experiment, changes in Insulin-like growth factor-I (IGF-I) concentration, which reflect the nutritional state and growth potential of cattle, have been reported elsewhere (Blanco *et al.*, 2005c). Briefly, EW calves had higher serum IGF-I than NW calves at d 180 and 210, but thereafter, when NW calves were undergoing compensatory growth, IGF-1 concentration of NW calves increased to a similar value to that of EW calves.

In the present study, EW calves had a higher total feed intake in the fattening phase (1,890 kg/calf) than NW calves (1,164 kg/calf) due to a longer time-on-feed of the former (264 vs. 158 d, $P < 0.001$) as reported previously in steers by Myers *et al.* (1999a, c). This higher total feed intake of EW calves led to greater calf feeding costs (Blanco *et al.*, 2005b), which has also been reported by Schultz *et al.* (2005). Conversely, Barker-Neef *et al.* (2001) observed a lower total feed intake of EW steers, although the cost of EW steers diet in their experiment was higher, which lead to similar feeding costs for EW and NW steers. Finally, when considering both calf and dam feeding costs, Blanco *et al.* (2005b)

reported that early weaned cows had weight gains during summer grazing while lactating cows lost weight. This difference of body weight after grazing implied that NW cows would require extra feed to attain a sufficient body condition to ensure next reproductive cycle. Therefore, cows and their early-weaned calves might be more cost-effective, as Peterson *et al.* (1987) have already reported.

3.2. Carcass and meat quality

Carcass quality data are described in Table 2. Despite the absence of statistical differences in live weight at slaughter, EW calves had higher dressing percentage ($P < 0.05$) that resulted in heavier carcasses ($P = 0.07$) than NW calves, both of which were observed by Williams *et al.* (1975) and Meyer *et al.* (2005). Baker and Gibb (1995) studied carcass and meat quality of steers that received a grain-based diet for 16 months or forage feeding (to simulate grazing) for 8 months followed by ad libitum feeding of high-concentrate diets for 8 months, and they also found a higher dressing percentage for the former.

Table 2. Carcass characteristics of early (EW) and normal weaned (NW) calves

	EW calves	NW calves	s.e.m.	P-value
Cold carcass weight, kg	290	270	10	†
Dressing percentage	56.9	55.2	0.7	**
Conformation (1 - 6 scale)	3.7	3.8	0.2	ns
Fat score (1 - 5 scale)	2	2	0	.
Fat colour				
Lightness (L*)	74.8	76.0	1.2	ns
Redness (a*)	1.9	1.0	0.5	†
Yellowness (b*)	10.4	10.1	0.7	ns

Means with † differ at $P < 0.10$

Carcasses of both treatments were graded as U in the SEUROP scale (3.7 points) with a fat score of 2, with no differences associated to weaning strategy; whereas Williams *et al.* (1975) reported fatter and higher-grading carcasses for EW calves. However, results differ when slaughter criteria change. When steers were finished to 0.81 cm target fat thickness no differences in conformation appeared between EW and NW steers (Myers *et al.*, 1999c but if target fat thickness increased to 1.1 cm EW steers had better conformation than NW ones (Myers *et al.*, 1999a; Meyer *et al.*, 2005). Finally, EW non-

implanted steers were reported to produce too fat, unacceptable carcasses (1.8 cm of fat thickness) (Fluharty *et al.*, 2000).

Subcutaneous fat colour was similar between treatments. Muir *et al.* (1998) asserted that as the duration of grain-feeding increases the yellow pigmentation of fat declines, and therefore the duration of the finishing phase in the current study may have been enough to avoid any differences due to previous feeding regime.

Meat pH, colour data and Warner-Bratzler measures are presented in Table 3. Meat pH is greatly affected by stress caused by pre-slaughter management and slaughtering procedures, which were performed to minimise the possible adverse effects. As it was expected under identical slaughter conditions, no differences in meat pH between weaning treatments appeared.

Table 3. Instrumental characteristics of *Longissimus thoracis* after 7 days of aging of Early (EW) and Normal Weaned (NW) calves

	EW calves	NW calves	s.e.m.	P-value
pH 24 hours	5.7	5.7	0.1	ns
Meat colour				
Lightness (L*)	38.5	43.2	0.9	***
Redness (a*)	15.7	14.7	0.8	ns
Yellowness (b*)	13.9	15.2	0.6	*
Toughness, kg/cm ²	2.09	1.98	0.16	ns
Maximum stress, kg/cm ²	6.83	5.86	0.82	ns

Means with * differ at $P < 0.05$

Concerning meat colour, EW calves had lower L* and b* and similar a* than NW calves. These results agree well with the observed by Barker-Neef *et al.* (2001) in steers with similar growth paths. In the current study a positive correlation appeared between ADG during the finishing phase and lightness ($r=0.69$, $P < 0.01$). It could be hypothesised that the differences in lightness could be related to the relative proportion of different fibre types, as paler meat is related to a higher frequency of glycolytic fibres and a lower area of oxidative fibres (Wegner *et al.*, 2000). In fact, Brandstetter *et al.* (1998) found at the end of the re-feeding phase a higher proportion of glycolytic fibres in the Longissimus muscle in compensating bulls compared to normal growing ones, although differences were not significant. However, Cassar-Malek *et al.* (2001) found these proportions identical in continuously grown and restricted-reared calves.

Meat toughness and maximum stress were similar between EW and NW calves. Likewise, when implanted steers were slaughtered at a fixed weight (Schoonmaker *et al.*, 2001) or age (Meyer *et al.*, 2005) weaning age did not affect tenderness. In the same way, Vestergaard *et al.* (2000) studied meat tenderness of steers on pasture, intensively fed and on pasture and finished on grain, and reported that after 10 weeks of intensive feeding tenderness differences disappear, such as may have been the case in our study. Allingham *et al.* (1998) suggested that the high growth rate of grain-finished steers reduced the contribution of the connective tissue component for toughness. Yet, no correlations appeared in the current study between meat tenderness and ADG.

Meat dry matter, protein and ash content were similar between treatments (Table 4), with a slightly lower ether extract for NW calves (ns, $P = 0.17$), which would support the hypothesis of a lower energy content of weight gain in compensating animals (Hoch *et al.*, 2003). In fact, after complete compensation small or no differences in meat composition were found in calves (Ryan *et al.*, 1993b; Laborde *et al.*, 2002). Schoonmaker *et al.* (2001) also found no differences in meat composition derived from weaning management. Conversely, Barker-Neef *et al.* (2001) reported that NW steers tended to have greater ether extract content than EW ones even though slaughter weight might have influenced the result as NW steers were 50 kg heavier than EW steers.

Table 4. *Longissimus thoracis* chemical composition (% fresh matter) of Early (EW) and Normal Weaned (NW) calves

	EW calves	NW calves	s.e.m.	P-value
Dry matter	27.4	27.3	0.3	ns
Protein	23.8	23.5	0.5	ns
Ether extract	2.7	2.2	0.3	ns
Ash	1.2	1.2	0.0	ns

No differences were found between weaning treatments in meat fatty acid composition (Table 5). As rearing system (grain or grass-based) affects meat fatty acid composition (Priolo *et al.*, 2001), differences may have arisen from the different feeding strategies (concentrate vs. milk and grass-based diets) associated to each weaning management between d 90 and d 180. However, the six-month fattening period on a similar diet seems to have been sufficient to eliminate any difference in fatty acid profile which could have originated in the previous period on different diets. Duckett *et al.* (1993) found no differences in fatty acid profile from 112 days on feed onwards. Hh ratio values did not differ with increasing time on feed (28 to 196 days) and are in accordance to the ones obtained in the current study.

Table 5. *Longissimus thoracis* fatty acid composition (%) of Early (EW) and Normal Weaned (NW) calves

	EW calves	NW calves	s.e.m.	P-value
C14:0	2.5	2.5	0.2	ns
C14:1	0.5	0.5	0.1	ns
C15:0	0.6	0.5	0.2	ns
C16:0	21.3	21.8	0.6	ns
C16:1	3.0	2.9	0.2	ns
C17:0	4.2	4.1	0.8	ns
C17:1	1.1	1.1	0.1	ns
C18:0	18.0	18.2	1.4	ns
C18:1	33.3	33.4	1.1	ns
C18:2	9.3	8.5	0.8	ns
C18:3	0.4	0.6	0.1	ns
C20:4	1.2	1.1	0.2	ns
SFA	46.6	47.1	1.2	ns
MUFA	37.9	37.9	1.2	ns
PUFA	10.9	10.2	0.9	ns
PUFA:SFA	0.24	0.22	0.03	ns
Hh ¹	0.49	0.51	0.02	ns

$$^1 \text{Hh} = (\text{C14:0} + \text{C16:0}) / (\text{MUFA} + \text{PUFA})$$

4. Conclusion

Despite the different growth paths of EW and NW calves, slaughter live weight, carcass conformation, fat score and meat quality were similar when EW and NW animals were slaughtered at the fixed age of one year. Due to a longer fattening period, EW calves had a higher total feed intake that led to greater production costs, making this management strategy less advisable from an economic viewpoint in spring-born calves in these dry mountain areas when calves are considered solely. However, if both dam and calf were considered and dams needed to recover weight or to improve their reproductive traits, particularly in heifers and thin cows, their calves could be early weaned without affecting notably the final product.

Ensayo 2. Efecto de la edad al destete y la suplementación durante la lactación sobre los rendimientos, calidad de la canal y la carne de terneros nacidos en otoño

Este trabajo ha dado lugar a la publicación **“Effects of pre-weaning concentrate feeding on calf performance, carcass and meat quality of autumn-born bull calves weaned at 90 or 150 days of age”**. M. Blanco, D. Villalba, G. Ripoll, H. Sauerwein and I. Casasús. *Animal* (Enviado)

Abstract

A study was conducted to evaluate the effect of pre-weaning concentrate feeding in early weaned (EW, d 90) or traditionally weaned (TW, d 150) autumn-born beef calves on performance, carcass and meat quality. Twenty-eight male calves were either EW or TW, and offered a starter concentrate (S) or no additional feed (NS) during the pre-weaning period. Therefore, four management strategies were tested: EWS, EWNS, TWS and TWNS. Growth patterns were affected by management strategy. From d 90 to 150, TWNS calves presented a remarkably lower ADG than their counterparts, which had similar performance. During the finishing phase (from d 150 to slaughter at 450 kg live weight), EWS calves had the lowest ADG. Daily feed intake or efficiency in the finishing phase were unaffected by previous management. Serum IGF-I concentrations at d 90 and slaughter did not differ with management strategy, but early weaning and pre-weaning concentrate feeding increased IGF-I concentrations at d 150. Circulating leptin concentrations were unaffected by age at weaning and pre-weaning concentrate feeding, except for leptin concentrations before slaughter, which were higher in S than in NS calves. Total feed intake from birth to slaughter and the concomitant feed costs were higher for EWS and EWNS calves than for TWNS and TWS ones. However, cow feed costs were lower for cows whose calves had been early weaned. Concerning carcass quality, early weaning improved dressing percentage and fatness score, and particularly TWNS calves presented a poorer conformation. Meat quality was not affected by management strategy. Considering the economic performance, TWS, EWNS and EWS strategies yielded a similar economic margin, whereas TWNS would be the least advisable strategy.

Keywords: beef cattle, age at weaning, pre-weaning concentrate feeding, performance, carcass quality

1. Introduction

Beef cattle farms in most European dry mountain areas may have long indoor housing periods due to harsh climatic conditions. The adaptation of production systems to these environments, with high variability in the quantity and quality of forage resources, can be attained by the choice of calving and weaning dates. Early weaning (EW) could be a technically and economically viable practice, as it has been proposed when there is feed shortage or available feed is of poor quality (Neville and McCormick, 1981). Casasús *et al.* (2005) reported that forest pastures were efficiently used in late winter and early spring by dry cows, hence autumn-calving cows whose calves had been early weaned could graze these low quality resources, allowing for a reduction of the housing period of the dams while their calves are intensively fed. Besides, grazing such areas in this season constitutes an effective management tool against herbage accumulation and shrub

encroachment (Casasús *et al.*, 2007a). In our conditions, when spring-born calves were early weaned and fed intensive diets, growth patterns and efficiency were modified, and carcass conformation was improved (Blanco *et al.*, 2004). However, calf management might differ with calving season, and thus the effect of early weaning on calf performance could be different.

Offering concentrates to nursing calves has been used to compensate for the decrease of the dam's milk production and to improve the weight gains of the calves (e.g. Martin *et al.*, 1981; Prichard *et al.*, 1989; Myers *et al.*, 1999a). In this sense, this practice is more efficient than providing extra feed to the dam for increased milk yield (Parkins *et al.*, 1977; Casasús *et al.* 2001b). Other benefits of this feeding strategy include the reduction of weaning stress through familiarization with concentrates as feedstuffs (Martin *et al.*, 1981) and the decrease of morbidity in the feedlot (Myers *et al.*, 1999a). Carry-over effects of pre-weaning concentrate feeding on finishing performance are controversial; some studies reported slight or no effects on weight gains in the subsequent phase (Myers *et al.*, 1999a; Fluharty *et al.*, 2000), whereas Tarr *et al.* (1994) described deleterious effects on performance in the finishing phase. Moreover, offering starter feed to nursing calves has been reported to reduce the length of the fattening phase without affecting carcass characteristics (Corah and Bishop, 1975; Myers *et al.*, 1999a; Casasús *et al.*, 2001b) or even improving carcass yield grade (Faulkner *et al.*, 1994). However, providing a starter concentrate implies additional feed costs, and the profitability of this practice depends on the price of gain in relation to the value of calves when they reach slaughter condition (Corah and Bishop, 1975).

Insulin-like growth factor-I (IGF-I) and leptin are hormones involved in protein and fat deposition. Circulating IGF-I concentrations depend on energy intake (Elsasser *et al.*, 1989) and leptin concentrations on adiposity and, to a lower extent, on nutrition (Chilliard *et al.*, 1999). Therefore, as the different management strategies modify the diets given to the calves, the secretion of these hormones and the growth patterns might be altered.

The objective of the study was to assess the effect of early weaning and pre-weaning concentrate feeding on performance, circulating IGF-I and leptin concentrations, carcass and meat quality and on the economic performance of autumn-born beef calves.

2. Material and Methods

2.1. Animals and management

The study was conducted in La Garcipollera Research Station, in the mountain area of the central Pyrenees (Spain, 42°37' N, 0°30'W; 945 m a.s.l.). Fifty-six Parda de Montaña (beef breed derived from Brown Swiss) cows calved in the autumn (average calving date 21 October), but only male calves and their dams (28 pairs) were used for this study. Cow-calf pairs were randomly assigned to 1 of 4 management strategies in a 2

x 2 factorial experiment; combining 2 ages at weaning, d 90 (early weaning, EW) and d 150 (traditional weaning, TW), and 2 levels of pre-weaning concentrate feeding, i.e. offering a starter concentrate mix (S) or not (NS) during nursing. Therefore, the four management strategies tested were: EWS, EWNS, TWS and TWNS.

Cows and calves were loose-housed during the entire nursing period. Dams were fed 12 kg per day of a total mixed ration (TMR) (54% forages, 46% grains, by-products and vitamin and mineral supplements, 8.61 MJ ME/kg DM, 12.46% CP) to meet their nutritive requirements for maintenance and for an estimated milk production of 9 kg/d. Calves were allowed to suckle their dams twice daily for 30 minutes at 0800 and 1600 h. EWS and TWS calves were offered a starter concentrate mix (Table 1) *ad libitum* during the nursing period.

Table 1. Composition of the diets fed to the calves throughout the experiment

Item	Starter Mix	Concentrate A	Concentrate B
Ingredients (% DM)			
Ground Corn	34	30	32
Ground Barley	28	27.3	23.5
Gluten feed		10	12
Soybean meal	17.9	14	9.4
Bran	8.0		
Cereal by-products		5.2	8.4
Sugar beet pulp		8	10
Milk replacer	12.0		
Vitamins		0.5	0.5
Nutrient composition			
CP, %	17.5	14.9	13.7
Ca, %	7.0	0.76	0.80
P, %	7.0	0.87	0.78
ME, MJ/kg DM	11.55	11.47	11.65

At d 90, EWS and EWNS calves were weaned and transported to a feedlot facility in CITA Research Station (41° 43' N, 0° 48' W; 225 m a.s.l.), while their dams were turned out to forest pastures, where they received 7.6 kg of the TMR per day during 35 d, due to the low forage availability and harsh weather conditions. At d 150, TWS and TWNS calves were weaned and transported to the same feedlot as their counterparts, and their dams were turned out to forest pastures.

During the first week after weaning, calves received concentrate A (Table 1) in gradually increasing amounts until *ad libitum* intake was reached, in order to get adapted to feedlot conditions. Calves were fed this concentrate until they reached 350 kg live weight. From this moment to slaughter, the calves were fed concentrate B. Calves received both concentrates and barley straw on *ad libitum* basis.

When calves reached 450 kg live weight, they were slaughtered in a commercial abattoir (MercaZaragoza, Zaragoza, Spain) 6 km away from the Research Station. They were transported on the slaughter day to minimise pre-slaughter stress. The animals were stunned by captive bolt pistol and dressed according to standard commercial practice.

2.2. Measurements

During the entire experiment, calves were weighed weekly at 0800 h without prior deprivation of feed and water. These data were used to calculate average daily gain (ADG) for periods from d 0 to 90, d 90 to 150 and d 150 to slaughter (finishing period) by linear regression of weight on day. The same method was used for calculating monthly ADG.

Milk intake was assumed to be equal to cow milk yield as estimated with the oxytocin and machine milking method (Le Du *et al.*, 1979) at d 45, 90 and 150, the latter only for TW calves. A sample of milk from each cow and milking day was collected for chemical analysis by infrared scan (Milkoscan 255 AB, Foss Electric Ltd., Warrington, U.K.). Milk yield was corrected to 4% fat content with the formula of Gaines (1928): kg milk (4%) = kg milk (0.4 + 0.15 × %fat). Energy content of 1 kg of 4% corrected milk was assumed to be 3.14 MJ ME (INRA, 1981).

Concentrate intake was recorded daily in the nursing period on a per group basis, and during the feedlot phase (weaning to slaughter) automatically on an individual basis (ALPRO[®], Alfa Laval Agri, Tumba, Sweden). These data were used to estimate daily dry matter intake (DMI), total DMI, DMI per kg of metabolic weight and feed to gain ratio for the periods from d 90 to 150 and from d 150 to slaughter.

2.3. Blood sampling and hormone analyses

Calves were bled at d 90, d 150 and 1 day before slaughter at 0800 h by puncture of the *V. mediana caudalis* to determine IGF-I and leptin concentrations. Blood was allowed to clot for 24 h; the serum obtained was harvested and frozen at -20 °C until analysis. Circulating IGF-I concentrations were quantified using a commercial EIA kit (OCTEIA[®] IGF-I, IDS, Boldon, U.K.), with intra- and inter-assay coefficients of variation of 3.6% and 3.4%, respectively. Serum leptin concentrations were determined with a competitive EIA for leptin in domestic animals validated for cattle (Sauerwein *et al.*, 2004). Intra- and inter-assay coefficients of variation were 6.6% and 11.5%, respectively.

2.4. Slaughter and sampling procedures

Immediately after slaughter, hot carcass weight was recorded, and 2% of the weight was subtracted to determine cold carcass weight. Dressing percentage was calculated by dividing cold carcass weight by slaughter live weight, which was obtained on the day before slaughter. After 24 h of chilling at 4° C, carcasses were graded using the European grading systems (Directives (ECC) n° 1208/81 and n° 2237/91). Carcass conformation was assessed with an 18 point scale (from 1 = poorest to 18 = best) and fatness score with a 15 point scale (from 1 = leanest to 15 = fattest).

To determine meat quality, the *M. longissimus dorsi* was dissected between the 6th and the 11th rib of each left half carcass and was sliced into steaks. Ultimate pH (24 h) was measured with a Crison pHmeter (Crison Instruments, SA, Barcelona, Spain). Lean meat colour (CIE L* (lightness), a* (redness) b*(yellowness)) was measured in 2 cm steaks after 24 h of air exposure (Albertí *et al.*, 2005) with a spectrophotometer (Minolta CM-2600d, Konica Minolta Holdings, Inc, Osaka, Japan). Hue angle value ($\arctg b^*/a^* \times 57.29$) was calculated with these parameters. For texture analysis, 3.5 cm steaks were aged for 8 days and subjected to a Warner-Bratzler meat determination with an Instron shear machine (Model 5543, Instron Limited, Barcelona, Spain) (Honickel, 1998). Values for toughness (energy needed per unit of volume to shear the sample below the shear blade until the point of maximum load) and maximum stress (maximum load per unit of cross section) were determined. For meat chemical analysis, 2 cm steaks were minced and freeze-dried, obtaining the dry matter as the difference between weight before and after freeze-drying. After this, the minced samples were ground for protein and intramuscular fat determination. Protein was determined following the Dumas procedure (AOAC, 1995) and fat following the Ankom procedure (AOCS Am 5-04). Fatty acid profile was obtained following the procedures described by Tor *et al.* (2005), modified for beef meat, as fatty acids were quantified by incorporating an internal standard, 1,2,3-Tritridecanoylglycerol (tritridecanoin C13:0), into each sample. Proportions of polyunsaturated (PUFA), mono-unsaturated (MUFA), and saturated (SFA) fatty acids and the PUFA/SFA ratio were obtained from individual fatty acid percentages.

2.5. Economical analysis

The four management strategies were economically compared considering only the technical and economic aspects that varied among strategies. From d 90 to 150, the TMR intake and housing period of the cows were different, and consequently associated expenses differed. Other aspects that changed among management strategies were: calf concentrate intake and feed expenses; days at feedlot and yardage costs; carcass weight, conformation score and price of the calf at slaughter. The economic margin was calculated as the difference between income and the above described costs. Actual selling prices of carcasses, TMR and concentrates during 2004 were considered.

2.6. Statistical Analysis

Performance (weight and ADG), milk and feed intake, IGF-I and leptin data were analysed using the MIXED procedure with an unstructured covariance matrix for repeated measures including age at weaning (EW vs. TW), pre-weaning concentrate feeding (S vs. NS), time and their interactions as fixed effects, and animal as the random effect. Carcass and meat characteristics and economic results were tested by Analysis of Variance using the GLM procedure (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA) with age at weaning, pre-weaning concentrate feeding and their interaction as fixed effects. Least square means (LS Means) were estimated and differences between LS Means were tested with a t-test. Pearson's correlation coefficients between variables were calculated. For all tests, the level of significance was set at 0.05. Trends were discussed when *P*-values were < 0.10.

3. Results

3.1. Calf Performance

Data from one calf were removed from the statistical analysis as it was affected by lameness in the finishing phase, showing severe depression of weight gains. Tables show the LS Means for the four management strategies (interaction between age at weaning and pre-weaning concentrate feeding). Only when the interaction was not significant, individual effects of age at weaning and pre-weaning concentrate feeding are commented in the text.

Weight at d 90 did not differ with age at weaning (132 and 136 kg for EW and TW calves, respectively; s.e.m. = 6.3, ns), pre-weaning concentrate feeding (135 and 132 kg for S and NS calves, respectively; s.e.m. = 6.3, ns) or their interaction (Table 2). ADG from d 0 to 90 was not affected by age at weaning (0.967 vs. 1.002 kg/d for EW and TW, respectively; s.e.m. = 0.0671, ns), pre-weaning concentrate feeding (1.022 vs. 0.947 kg/d for S and NS calves, respectively; s.e.m. = 0.0671, ns) or their interaction, either. When gains were analysed on a monthly basis, no difference was observed due to pre-weaning concentrate feeding during the first 2 months of life, but gains in the third month were improved when the starter was provided (1.087 vs. 0.907 kg/d for S and NS calves, respectively; s.e.m. = 0.0655, *P* < 0.01). Corrected milk intake at d 90 was similar for S and NS calves (7.8 vs. 7.6 kg/d, respectively; s.e.m. = 1.68, ns). In addition, S calves had an average concentrate intake of 0.4 kg DM/d during the third month, while before the third month, concentrate intake was negligible.

From d 90 to 150, weight gains were affected by management strategy (*P* = 0.001) (Table 2). TWNS calves had a remarkably lower ADG than their counterparts, and TWS calves had the highest weight gains. These differences in weight gains therefore resulted in weight differences at d 150, with TWS calves being the heaviest and TWNS calves the lightest (*P* < 0.001). Calves received different diets among the four management strategies. Both groups of TW calves had a similar milk intake (6.5 vs. 7.1 kg/d, for TWNS

and TWS calves, respectively; s.e.m. = 1.15, ns), but TWS calves also had an average concentrate intake of 1.5 kg/d. Both groups of EW calves had the same daily concentrate DMI at the feedlot (3.5 and 3.5 kg/d for EWS and EWNS calves, respectively; s.e.m. = 0.42, ns). Consequently, TWNS calves had the lowest energy intake from their diets, while the rest of the management strategies provided similar energy intakes (19.5 MJ ME, 40.2, 40.4 and 40.0 MJ ME for TWNS, TWS, EWS and EWNS calves, respectively; s.e.m. = 4.85, $P < 0.01$). Both groups of EW calves had similar and very low feed to gain ratio in the feedlot from 90 to 150 d (2.58 and 2.61 for EWS and EWNS calves, respectively; s.e.m. = 0.324, ns), and also similar total DMI in this period (225 vs. 218 kg; s.e.m. = 24.7, ns). Total DMI from d 90 to 150 of TWS calves, recorded on a per group basis, was 85 kg.

Table 2. Performance from birth to slaughter according to management strategy

	EWS	EWNS	TWS	TWNS	r.s.d.	<i>P</i> -value
Weight, kg					13	***
d 0	43	45	45	47		
d 90	130	133	141	131		
d 150	209 ^b	207 ^b	245 ^a	176 ^c		
Slaughter	451	448	451	444		
ADG, kg/d					0.139	***
d 0 to 90	0.958	0.976	1.085	0.919		
d 90 to 150	1.374 ^{ab}	1.322 ^b	1.529 ^a	0.774 ^c		
d 150 to slaughter	1.459 ^b	1.618 ^{ab}	1.700 ^a	1.676 ^a		
Age at slaughter, d	315 ^a	300 ^a	273 ^b	318 ^a	16.0 [†]	**

^{a, b, c} Means within a row lacking a common superscript letter differ ($P < 0.05$); [†] s.e.m. Means with *** differ at $P < 0.001$, ** at $P < 0.01$

During the finishing phase (d 150 to slaughter), TWS, TWNS and EWNS had similar weight gains, and the gains of EWS calves were significantly lower than those of both groups of TW calves and tended to be lower than those of EWNS calves ($P = 0.08$). Due to the differences in weight at d 150 and the ADG during the finishing phase, TWS calves were 27 to 45 days younger when they reached the target slaughter weight than the other groups ($P < 0.01$) (Table 2).

Overall daily DMI during the finishing phase was unaffected by age at weaning (5.7 vs. 6.0 kg/d for EW and TW calves, respectively; s.e.m. = 0.47, ns), pre-weaning concentrate feeding (5.8 vs. 5.9 kg/d for S and NS calves, respectively; ns) or their interaction (Table 3). Similarly, feed to gain ratio was not affected by age at weaning (3.7 vs. 3.6 for EW and TW calves, respectively; s.e.m. = 0.20, ns), pre-weaning concentrate feeding (3.7 vs. 3.6 for S and NS calves, respectively; ns) or their interaction (Table 3).

Total DMI in this period was affected by management strategy, as TWS calves had 15 to 25% lower concentrate intake than the rest of the groups ($P < 0.001$) (Table 3).

Table 3. Intake and feed conversion during the finishing phase (d 150 to slaughter) according to management strategy

	EWS	EWNS	TWS	TWNS	s.e.m	P-value
Finishing phase length, d	166 ^a	149 ^a	124 ^b	168 ^a	17.5	***
Daily DMI, kg/d	5.4	5.9	6.2	5.9	0.47	ns
Feed to gain ratio	3.7	3.7	3.6	3.5	0.20	ns
Total DMI, kg	898 ^a	880 ^a	737 ^b	965 ^a	64.9	***

^{a, b} Means within a row lacking a common superscript letter differ ($P < 0.05$)

When monthly feed intake was studied, only marginal differences associated to age at weaning were observed (Figure 1a). During the first month of the finishing phase, EW calves had a higher concentrate intake than did TW calves (66.3 vs. 52.9 g/kg LW^{0.75}, respectively; s.e.m. = 3.23; $P < 0.001$), while during the third month EW calves had a lower intake than their TW counterparts (69.8 vs. 77.1 g/kg LW^{0.75}, respectively; s.e.m. = 3.23, $P < 0.01$). From d 150 to 270, pre-weaning concentrate feeding had a larger effect on concentrate intake, because NS calves had a higher concentrate intake than S calves (Figure 1b).

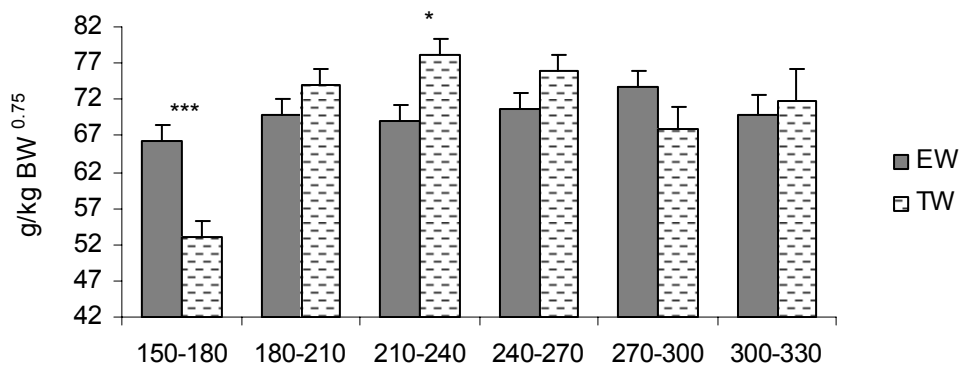


Figure 1a. Effect of age at weaning on monthly feed intake during the finishing phase (150 to slaughter). Within a month, means with *** differ at $P < 0.001$ and * at $P < 0.05$

When the whole feedlot period (from weaning to slaughter) was studied, EWS calves stayed the longest on feed (226 d), followed by EWNS (209 d), TWNS (168 d) and TWS calves (124 d) (s.e.m. = 16.1, $P < 0.001$). In accordance, total DMI from birth to slaughter was different among the four management strategies, with both groups of EW calves presenting the highest and TWS calves the lowest intakes (1166, 1099, 965 and 862 kg for EWS, EWNS, TWNS and TWS calves, respectively; s.e.m. = 75.6, $P < 0.05$).

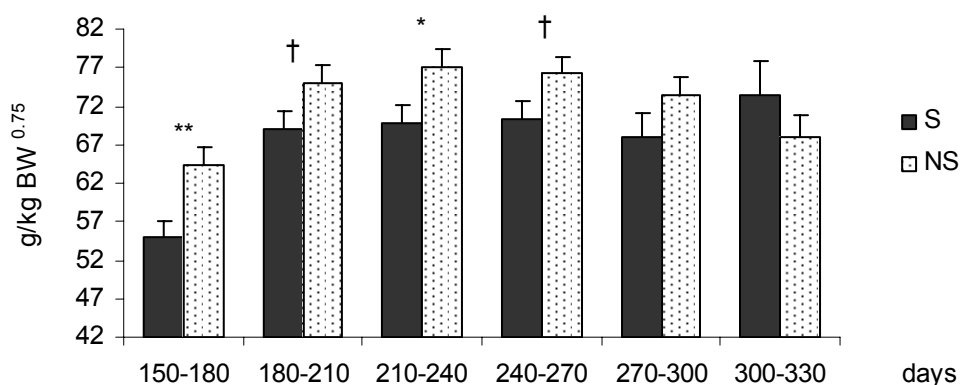


Figure 1b. Effect of pre-weaning concentrate feeding on monthly feed intake during the finishing phase (150 to slaughter). Within a month, means with ** differ at $P < 0.01$, * at $P < 0.05$ and † $P < 0.10$

3.2. Serum IGF-I and leptin concentrations

Serum IGF-I concentrations were unaffected by the three-way interaction age at weaning x pre-weaning concentrate feeding x sampling date, but the interactions age at weaning x sampling date and pre-weaning concentrate feeding x sampling date were statistically significant ($P < 0.05$ and $P < 0.001$, respectively). These interactions imply that the time course of IGF-I concentrations differed between the EW and TW calves, and between S and NS calves (Figure 2).

Serum IGF-I concentrations at d 90 were not different among the four management strategies. However, at d 150 IGF-I concentrations presented differences related to age at weaning and pre-weaning concentrate feeding. Early weaned calves had higher IGF-I concentrations than TW calves (272 vs. 194 ng/ml for EW and TW calves, respectively; s.e = 35.0, $P < 0.05$). On the other hand, circulating IGF-I concentrations of S calves doubled those of NS calves (308 vs. 158 ng/ml, respectively; s.e.m. = 35.0, $P < 0.001$). Despite these differences found at d 150, IGF-I concentrations at slaughter were again alike.

In the present study, IGF-I at d 90 and ADG from birth to d 90 were related ($r = 0.63$, $P < 0.001$), and IGF-I at d 150 was also related with ADG from d 90 to 150 d ($r = 0.62$, $P < 0.001$). In contrast, IGF-I at d 150 showed an inverse relationship with ADG during the finishing phase ($r = -0.46$, $P < 0.05$). Moreover, IGF-I at d 150 was correlated to feed to gain ratio during the finishing phase ($r = 0.57$, $P < 0.01$).

Circulating leptin concentrations were not affected either by the interactions age at weaning x pre-weaning concentrate feeding x sampling date or by age at weaning x sampling date. However, the time course of leptin concentrations differed between pre-weaning concentrate feeding treatments ($P < 0.05$) (Figure 2). Leptin concentrations were

not different between S and NS calves at d 90 and d 150, but at slaughter S calves had almost 20% higher leptin values than NS calves (5.6 vs. 4.5 ng/ml, respectively; s.e.m. = 0.36, $P < 0.01$). Leptin concentrations before slaughter were correlated with fatness score ($r = -0.44$, $P < 0.05$), but not with intramuscular fat.

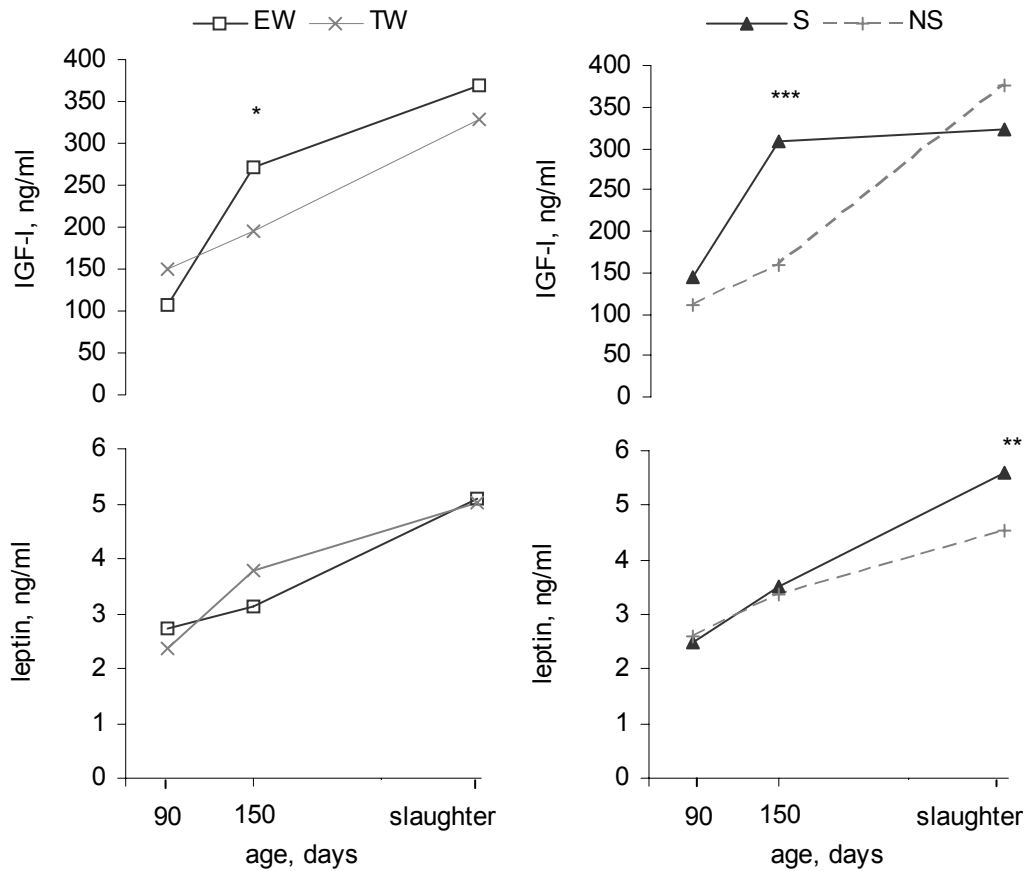


Figure 2. Effect of age at weaning and pre-weaning concentrate feeding on serum IGF-I and leptin concentrations¹. Within a parameter and date, means with *** differ at $P < 0.001$, ** at $P < 0.01$ and * at $P < 0.05$. ¹SED_{IGF-I} = 35.0, SED_{leptin} = 0.36

3.3. Carcass and meat quality

Carcass characteristics were not influenced by pre-weaning concentrate feeding, but age at weaning and the interaction between both effects had significant effects on these traits. In spite of the absence of differences in slaughter weight (Table 2), EW calves tended to have heavier carcasses than TW calves (258 vs. 250 kg, respectively; s.e.m. = 8.3; $P = 0.08$) resulting in higher dressing percentages in EW calves (57.3 vs. 55.8% for EW and TW calves, respectively; s.e.m. = 0.94; $P < 0.01$). Early weaning also increased fatness score (5.5 vs. 4.8 for EW and TW calves, respectively; s.e.m. = 0.52; $P < 0.05$). Carcass conformation was different among the four management strategies with TWNS calves showing the worst conformation (Table 4).

Table 4. Carcass quality according to management strategy.

	EWS	EWNS	TWS	TWNS	s.e.m.	P-value
Cold carcass weight, kg	258	257	253	247	8.3	ns
Dressing percentage	57.3	57.3	56.2	55.5	0.94	ns
Conformation score (1-18)	10.4 ^{ab}	10.9 ^a	10.8 ^a	9.6 ^b	0.74	*
Fatness score (1-15)	5.3	5.7	4.7	5.0	0.52	ns

^{a, b} Means within a row lacking a common superscript letter differ ($P < 0.05$).

Meat pH, colour, toughness and maximum stress did not differ with pre-weaning concentrate feeding or management strategy (Table 5). Chemical composition presented little but significant differences due to age at weaning. Early weaning increased dry matter (24.9% vs. 24.2% for EW and TW calves, respectively; s.e.m. = 0.58, $P < 0.05$) and protein on a fresh matter basis (23.4% vs. 22.8% for EW and TW calves, respectively; s.e.m. = 0.45, $P < 0.05$) but not on a dry matter basis (ns). Age at weaning had no effect on intramuscular fat on fresh matter basis (1.8% vs. 1.7% for EW and TW calves, respectively; s.e.m. = 0.42, ns). Concerning the fatty acid profile, it was unaffected by management strategy, and neither were total SFA, MUFA, PUFA or PUFA/SFA ratio (Table 6).

Table 5. Meat physical characteristics according to management strategy

	EWS	EWNS	TWS	TWNS	s.e.m.	P-value
pH 24h	5.60	5.60	5.54	5.57	0.06	ns
Instrumental colour,						
luminosity	44.0	43.0	43.5	43.7	1.30	ns
Hue angle	46.4	46.3	46.0	44.6	1.45	ns
Toughness ^a , kg/cm ²	2.0	2.0	2.2	1.8	0.42	ns
Maximum stress ^a , kg/cm ²	6.7	6.3	7.2	5.8	1.55	ns

^a after 7 days of ageing

Table 6. Meat total SFA, MUFA, PUFA and PUFA/SFA ratio according to management strategy

	EWS	EWNS	TWS	TWNS	s.e.m.	P-value
SFA, %	43.5	43.3	43.8	43.3	1.16	ns
MUFA, %	36.5	33.9	37.9	36.7	2.35	ns
PUFA, %	10.7	11.8	9.4	11.1	1.56	ns
PUFA/SFA ratio	0.25	0.27	0.21	0.25	0.039	ns

3.4. Economic performance

Cows were managed differently in the period from d 90 to 150 depending on the age of calf at weaning, i.e. cows whose calves had been early weaned grazed forest pastures and were supplemented daily with 7.6 kg TMR for the first month after weaning, while lactating cows were indoors and received 12 kg TMR per day, which led to different costs. Lactating cows had yardage expenses and higher feed costs than those cows whose calves had been early weaned (Table 7).

Table 7. Economic performance according to management strategy (euros)

	EWS	EWNS	TWS	TWNS	s.e.m.	<i>P</i> -value
Cow costs						
Feed	41	41	112	112		
Yardage	-	-	13	13		
Calf costs						
Feed						
d 0 to 90	15	-	15	-		
d 90 to 150	61	57	31	-		
d 150 to slaughter	201 ^b	198 ^b	169 ^c	224 ^a	14.7	***
d 0 to slaughter	278	256	215	224	17.3	†
Yardage	47 ^a	44 ^a	26 ^c	32 ^b	3.4	***
Total cow-calf costs	366 ^{ab}	341 ^b	365 ^{ab}	383 ^a	19.0	*
Income	818	815	813	763	31.9	ns
Economic margin	451 ^a	474 ^a	448 ^a	380 ^b	34.6	*

^{a, b} Means within a row lacking a common superscript letter differ ($P < 0.05$).

From birth to d 90, EWS and TWS calves had a low total concentrate intake, which had an associated feed cost of 15 euros. In the period from d 90 to 150, EWS and EWNS calves had similar feed costs, which were higher than those of TWS calves, while TWNS calves had no concentrate feed costs. During the finishing phase, TWNS calves had the highest feed costs, whereas TWS had the lowest. Due to the different time on feed of each management strategy, yardage expenses were different, with EWS and EWNS having the highest costs and TWS the lowest ($P < 0.001$). These different costs in the different periods resulted in EWS and EWNS calves having 16 to 34% higher total costs than TWS and TWNS calves. When cow and calf total costs were added up, TWNS strategy originated the highest costs, and EWNS strategy the lowest ($P < 0.05$) (Table 7).

Income yielded per calves at slaughter was not significantly different among the different management strategies, although TWNS calves produced 50 euros less due to their slightly lower carcass weight and conformation.

The economic margin varied among management strategies, with TWNS strategy being the least favourable, whereas there were no differences among the other three management strategies tested ($P < 0.05$)

4. Discussion

4.1. Calf Performance

Calves that are offered starter feed during the nursing period are able to maintain their optimum growth as cow's milk production declines some weeks after parturition. Bartle *et al.* (1984) reported a beneficial effect of such starter feed offered from the ninth week when cow daily milk yield was 5 kg. However, in higher producing cows, the benefit from this starter feed was delayed to the fourth month (Prichard *et al.*, 1989; Bailey *et al.*, 1991). Indeed, in the same breed as the one used in the current experiment, Casasús *et al.* (2001a) also reported different weight gains from the third month between S and NS calves, which was due, as in our study, to the fact that concentrate intake of S calves was minor during the first two months, but it increased steadily from the third month.

Differences in weight gains from d 90 to 150 were reasonable, because energy intake from the diet was different in the four management strategies. Specifically, TWS calves had the highest weight gains, which almost doubled those of TWNS calves, which were only fed on their dams' milk. The positive effect of provision of concentrate to calves late in the suckling period had already been reported in 5- (Faulkner *et al.*, 1994) and 7-month old steers (Myers *et al.*, 1999a; Fluharty *et al.*, 2000). On the other hand, EWS and EWNS calves were given ad libitum the same intensive diet and had similar performance, because they had a comparable energy intake. Hence, when calves are weaned at three months of age, short-term pre-weaning concentrate feeding does not influence performance in the subsequent feedlot phase, as Tarr *et al.* (1994) described. The better performance of TWS calves when compared with their counterparts, contradicts other results where TWS steers fed concentrates for two months before weaning had lower gains than EW steers (Myers *et al.*, 1999a; Fluharty *et al.*, 2000). However, in those studies TWS steers were older (7-month old) at weaning than the calves in the current experiment, and their milk and concentrate intake was not enough to maintain optimum growth as the feedlot grain diet of EW steers did.

Age of calf at weaning or the provision of concentrates before weaning has little influence on performance in the finishing period. In the study of Myers *et al.* (1999a), gains of TW calves were 40 to 60% lower than those of EW calves between weaning dates, which originated little or no compensation in gains during the finishing period. Similarly, Fluharty *et al.* (2000) reported ca. 35% differences in weight gains between

weaning dates, and no effect of age at weaning on ADG during the finishing period. Accordingly, in the current experiment, when pre-weaning concentrate feeding was not provided to the calves (TWNS and EWNS), the difference in ADG between weaning dates was 41%, and weight gains did not differ with age at weaning during the finishing phase. Concerning the carry-over effects of pre-weaning concentrate feeding on the feedlot phase, Martin *et al.* (1981), Casasús *et al.* (2001b) and Hennessy *et al.* (2001) reported no effects on weight gains, as in the current experiment. Unexpectedly, weight gains of EWS calves at the feedlot were lower than those of the rest. Schoonmaker *et al.* (2004) reported that EW steers that were intensively fed had lower ADG than their TW counterparts during the finishing phase. They stated that the intensive feeding of EW calves caused an appreciable amount of energy to be partitioned to subcutaneous fat, thereby accelerating physiological maturity. In such circumstances, growth is not linear and ADG reaches a plateau, which could also be the case of EWS in the current experiment, whose fatness score was higher than that of TW calves.

Overall daily DMI and efficiency in the finishing period have been reported to be unaffected by age at weaning (Fluharty *et al.*, 2000; Schoonmaker *et al.*, 2004) or pre-weaning concentrate feeding during the nursing period (Faulkner *et al.*, 1994; Fluharty *et al.*, 2000; Casasús *et al.*, 2001b). On the other hand, the studies cited above reported a shortening of the finishing phase when starter feeds are offered to nursing calves, which also occurred in the current experiment with the TWS calves, but not with EWS calves due to their lower gains at the end of the feedlot period.

The fact that EW calves, being already adapted to intensive feeding, had higher intakes than TW calves during the first month of the finishing phase had already been reported (Fluharty *et al.*, 2000; Meyer *et al.*, 2005). The studies cited above also reported a higher intake of TW calves in the second to fourth month of the finishing phase, whereas in our study differences were only significant during the third month. On the other hand, the higher intake of NS calves during the first 120 days of the finishing phase had also been observed by Ryan *et al.* (1993a), when they compared previously restricted calves that were realimented with continuously growing calves. This increase in feed intake has been described as a mechanism that may contribute to compensatory growth, which did not occur in our experiment.

Pre-weaning concentrate feeding was too short in EW calves to affect total DMI, whereas it affected total DMI in TW calves. In the same way, 5- to 8- month old calves, offered starter feeds and then allocated to intensive diets, had lower feed intakes in the finishing phase than NS calves (Corah and Bishop, 1975; Casasús *et al.*, 2001b). Total DMI from birth to slaughter was clearly influenced by age at weaning, as it was higher for EW calves, which agrees well with Myers *et al.* (1999a) and Schoonmaker *et al.* (2001). On the opposite, pre-weaning concentrate feeding did not affect total DMI throughout the production cycle, as Myers *et al.* (1999a) reported.

4.2. Serum IGF-I and leptin concentrations

Serum IGF-I concentrations are indicative of nutritional and metabolic status, and consequently they increase in response to an increment in nutrient intake. In the current experiment, IGF-I concentrations at d 150 were positively related to energy intake, as other studies reported (Elsasser *et al.*, 1989; Renaville *et al.*, 2000). At slaughter, IGF-I did not differ among management strategies, because all the groups had similar concentrate and, therefore, energy intakes. In support of this, Elsasser *et al.* (1989) reported that after 4 weeks of realimentation IGF-I concentrations of restricted calves levelled of those of continuously growing calves.

The increase of leptin concentrations during fattening has been reported previously in beef cattle (Tokuda and Yano, 2001; Bellmann *et al.*, 2004), associated both to increased nutrient intake and amount of body fat. The reason for the higher serum leptin concentrations of S calves at slaughter compared to their NS counterparts remains unclear, as fatness score or intramuscular fat were similar between them. In our experiment, increased serum leptin was related to lower carcass fatness score, which contradicted the results reported by Geary *et al.* (2003), who reported a positive relationship between them and proposed leptin as a predictor of carcass quality. Leptin concentrations were also suggested as a predictor of intramuscular fat in Wagyu steers (Wegner *et al.*, 2001), breed with a higher intramuscular fat than the one used in the current study, but such relationship was not significant in our experiment. In fact, when calves of Parada de Montaña breed were heavier at slaughter, intramuscular fat was higher than in the current experiment, and was correlated with leptin concentrations before slaughter ($r = 0.72$, $P < 0.01$) (Blanco, unpublished data). So, leptin concentration might be used as a predictor of intramuscular fat when calves of this breed are slaughtered at heavier weights, and thus have higher intramuscular fat. However, when calves are lighter at slaughter, they are probably too lean for displaying a conclusive relation of body fat and circulating leptin concentrations.

4.3. Carcass and meat quality

Pre-weaning concentrate feeding had no effect on carcass characteristics, which is in accordance to previous reports (Myers *et al.*, 1999a; Fluharty *et al.*, 2000; Casasús *et al.* 2001b). However, Hennessy *et al.* (2001) reported that pre-weaning concentrate feeding increased weaning weights, but had deleterious effects on carcass and meat quality of steers and heifers finished for three months. The duration of this finishing period in their study might have been too short to counterbalance the differences that emanated before weaning (Corah and Bishop, 1975).

Early weaned calves had heavier carcasses with a concomitant improvement of dressing percentage and fatness score, as had already been reported in other studies (Fluharty *et al.*, 2000; Meyer *et al.*, 2005; Blanco *et al.*, 2004). However, Fluharty *et al.*

(2000) also reported an improvement of carcass grade with early weaning, which did not appear in the current study. Pre-weaning concentrate feeding has been reported to improve carcass quality, with fatter and better conformed carcasses (Faulkner *et al.*, 1994). However, in our study this effect on carcass conformation only appeared in TW calves but not in EW calves.

The absence of effects of the management strategy on meat quality is consistent with other studies. Barker-Neef *et al.* (2001), Schoonmaker *et al.* (2001) and Meyer *et al.* (2005) had reported that EW and TW calves presented similar pH, toughness and maximum stress. On the other hand, the differences in meat chemical composition found in the current study are negligible due to their small magnitude. Barker-Neef *et al.* (2001) and Schoonmaker *et al.* (2001) found no differences in dry matter and protein due to age at weaning. Previous experiments on age at weaning or pre-weaning concentrate feeding did not study meat fatty acid profile, which depends mainly on the composition of the diet given to the animals. Indeed, no differences were expected in the current experiment, because calves received the same intensive feeding for 123 to 225 days, a period long enough for previous SFA, PUFA and MUFA differences to vanish (Duckett *et al.*, 1993).

4.4. Economic performance

Considering the total expenses associated to the calf, EW calves had the highest costs due to higher total DMI, as Story *et al.* (2000) described, and more days on feed, which increased yardage costs. In these EW calves, the short-term pre-weaning concentrate feeding did not affect total costs. On the other hand, TWS and TWNS calves had similar costs, although Corah and Bishop (1975) had reported that the lower feed costs during the feedlot phase of S calves when compared to NS calves did not compensate for the value of the concentrate fed during the nursing period. However, in a cow-calf enterprise cow costs should also be taken into account. The higher costs of lactating cows compared to those whose calves had been early weaned had already been reported by Casasús *et al.* (2006). The advantage of TWS and TWNS strategies due to their lower costs calf-associated was counterbalanced by the greater cow-associated costs when compared with EWS and EWNS strategies.

Results on income yielded from different management strategies differ among studies, because of their dissimilar effect on animal performance and carcass quality. When EW calves had better carcass quality, they yielded higher incomes than TW calves (Story *et al.*, 2000). On the contrary, Barker-Neef *et al.* (2001) reported that EW calves had lighter carcasses which resulted in lower incomes. In the current experiment, as carcass weights and conformation were similar among EWS, EWNS and TWS, the incomes were also similar. However, TWNS calves had slightly lighter and worse conformed carcasses; therefore the income was also lower. Consequently, pre-weaning concentrate feeding improved the economic performance of TW but not EW calves.

Hence, considering the economic margin, the least advisable management strategy would be TWNS, whereas any of the other three could be equally recommended.

5. Implications

The results of the current study revealed that the traditional management strategy used in the study area (TWNS) was the least favourable one from an economic point of view, because the higher feeding and yardage costs of cows were not counterbalanced by the lower feed costs of their calves, and their lower carcass quality originated a lower income. Consequently, if calves are traditionally weaned, pre-weaning concentrate feeding improves gains, carcass quality and economic performance. On the other hand, EWNS and EWS strategies had similar economic performance than TWS strategy, without affecting gains, carcass or meat quality. Therefore, it is feasible to early wean calves, reducing the indoors housing period of their dams and allowing for an earlier turnout to forest pastures, which has been reported as an effective strategy for enhanced environmental management of these areas.

Ensayo 3. Efecto de la edad al destete y la raza sobre los rendimientos, calidad de la canal y la carne de terneros nacidos en otoño

Este trabajo ha dado lugar a la publicación **“Effects of early weaning and breed on calf performance and carcass and meat quality in autumn-born bull calves”**. M. Blanco, D. Villalba, G. Ripoll, H. Sauerwein, I. Casasús. Livestock Science (Enviado)

Abstract

This study assessed the effects of age at weaning (early weaning at 90 d or traditional weaning at 150 d) and breed (Parda de Montaña or Pirenaica) on calf performance and carcass and meat quality in autumn-calving beef cattle. At calving, 14 Parda de Montaña and 14 Pirenaica cow-calf pairs were randomly assigned to one of two weaning treatments, and kept indoors during lactation. After weaning, calves were fed an intensive diet until slaughter at 450 kg. The interaction between age at weaning and breed was not significant for any of the parameters studied. From 90 d to 150 d, early weaned calves had greater ADG ($P < 0.001$) and IGF-I concentrations ($P < 0.001$) than traditionally weaned calves, but their leptin concentrations were similar (ns). During the finishing phase, performance, daily feed intake, and efficiency did not differ between treatments. Early weaning did not affect age at slaughter, carcass weight, fatness score, fat colour, and meat quality, but improved carcass conformation ($P < 0.05$). Early weaned calves had greater total DMI ($P < 0.01$) with greater concomitant feed costs ($P < 0.001$) and yielded a slightly higher income than traditionally weaned calves; therefore, economic margins did not differ. Parda de Montaña calves tended to have greater ADG from birth to 90 d and were heavier at 90 d ($P < 0.01$) than were Pirenaica calves. From 90 d to 150 d, performance and IGF-I and leptin concentrations did not differ between breeds; thus, Parda de Montaña calves remained heavier at 150 d. During the finishing phase, at times, weight gains of Parda de Montaña and Pirenaica calves differed, but the overall performance, feed intake, and efficiency of the two breeds were similar (ns). Pirenaica calves had heavier carcasses ($P < 0.05$) with greater conformation scores ($P < 0.05$) than Parda de Montaña calves; thus, income per carcass was greater for the former than the latter ($P < 0.01$). As feed costs were similar for both breeds, the economic margin of Pirenaica calves was greater than that of Parda de Montaña calves ($P < 0.01$). In conclusion, in both breeds weaning strategies had similar effects on performance and carcass and meat quality; however, from an economic point of view, and considering only the costs associated with the calf, raising Pirenaica calves would be more profitable, at either age at weaning.

Keywords: age at weaning, breed, performance, carcass quality, meat quality, beef cattle

1. Introduction

To guarantee the sustainability of beef cattle farms in dry mountain areas the use of forage resources has to be improved (Casasús *et al.*, 2002). Early weaning might be a feasible alternative for a more cost-effective use of feed resources (Peterson *et al.*, 1987). Autumn-born calves could be early weaned in early spring while their dams grazed in low quality forest pastures, which can be efficiently used by dry cows (Casasús *et al.*, 2005). Weight gains of spring-born early weaned calves have been reported to be higher than those of their nursing counterparts (Myers *et al.*, 1999a) but, in the finishing phase, the

performance of traditionally weaned calves was similar to (Schoonmaker *et al.*, 2004) or better than that of early weaned calves (Blanco *et al.*, in press); however, calf management and performance can vary with the calving season.

In addition, the effect of early weaning on performance can be breed-dependent (Myers *et al.*, 1999a). Parda de Montaña and Pirenaica are two of the most common beef cattle breeds in the Spanish Pyrenees. Parda de Montaña breed is derived from the former Brown Swiss and was selected for meat production, and Pirenaica is a local breed. Although both breeds have similar mature weight (Casasús *et al.*, 2002), Parda de Montaña cows have higher milk yield and consequently their calves have higher weight gains during lactation than Pirenaica ones (Sanz *et al.*, 2003; Villalba *et al.*, 2000). Besides, Parda de Montaña is an intermediate-maturing breed whereas Pirenaica is a late-maturing breed (Piedrafita *et al.*, 2003). Therefore, growth patterns and carcass and meat qualities of those breeds might respond differently to a change in weaning management.

Serum IGF-I concentrations, which are influenced by feeding level, reflect the nutritional state and growth potential of cattle (Elsasser *et al.*, 1989). Leptin concentrations are associated with adiposity and feed intake (Chilliard *et al.*, 1999). Thus, a change in nutritional management caused by a change in the age at weaning might influence IGF-I and leptin concentrations and, consequently, modify growth and development. The objective of this study was to determine whether age at weaning and breed affect calf performance, IGF-I and leptin concentrations, carcass and meat quality, and economic performance of beef cattle.

2. Material and Methods

2.1. Animals and Management

In the autumn of 2003, 28 Parda de Montaña and 27 Pirenaica multiparous cows calved at La Garcipollera Research Station, in the central Pyrenees (Spain, 42° 37' N, 0° 30' W; 945 m a.s.l.). Fourteen Parda de Montaña and 14 Pirenaica purebred male calves and their dams were randomly assigned at calving to one of two ages of calf at weaning: early weaning (mean 90 ± se 2.2 d postpartum) or traditional weaning (150 ± 1.8 d postpartum), in a 2 x 2 factorial experiment (2 breeds x 2 ages at weaning). Cow performance has been reported elsewhere (Casasús *et al.*, 2006).

During the lactation period, cows and calves were loose-housed on a treatment basis. Parda de Montaña and Pirenaica cows were fed to meet their nutritive requirements for maintenance and for an estimated daily milk production of 9 kg and 7 kg, respectively (Sanz *et al.*, 2003). Each day, cows were group-fed 12 kg (Parda de Montaña) or 11 kg DM (Pirenaica) of a total mixed ration (Table 1) per cow. Calves were allowed to suckle their dams twice daily for 30 min at 0800 h and 1600 h, which is the common practice under Pyrenean farming conditions (Sanz *et al.*, 2004). Calves received no other feed

during lactation. Before the calves reached 3 mo of age, they were vaccinated against RSV, PI3, and Mannheimia (Pasteurella) haemolytica (Bovipast RSP, Intervet, Milton Keynes, UK), IBR (Ibraxion, Merial, Lyon, France) and Clostridium perfringens (Polibascol, Schering-Plough, Kenilworth, USA).

Table 1. Composition of the diets used in the experiment

Item	Total Mixed Ration	Concentrate A	Concentrate B
Ingredients (% DM)			
Alfalfa hay	30	-	-
Barley straw	24	-	-
Ground Corn	-	30	32
Ground Barley	16	27.3	23.5
Gluten feed	8.4	10	12
Soybean meal	-	14	9.4
Cereal by-products	-	5.2	8.4
Sugar beet pulp	-	8	10
Dry citric pulp	6	-	-
Palm seed	6	-	-
Sugarcane molasses	6	2	-
Sunflower seed	3	-	-
Vitamins	0.6	0.5	0.5
Nutrient composition			
CP, %	12.49	14.9	13.7
Ca, %	0.84	0.76	0.80
P, %	0.37	0.87	0.78
Mg, %	0.29	0.16	0.16
ME, MJ/kg DM	8.6	11.47	11.65

Early weaned calves were weaned at 90 d, transported to a feedlot to follow a commercial feeding program at the Montañana Research Station (41° 43' N, 0° 48' W; 225 m a.s.l.), and randomly assigned to one of two pens, where they individually fed from ALPRO feeding stations (Alfa Laval Agri, Tumba, Sweden). At 150 d, traditionally weaned calves were weaned and transported to the feedlot holding the early weaned calves. Traditionally weaned calves were randomly assigned to one of two pens equipped with individual feeding stations.

During their first week at the feedlot, calves were trained to consume feed from individual feeding stations and received concentrates in gradually increasing amounts. Thereafter, concentrates and barley straw were available *ad libitum*, and concentrate composition was adjusted to animal requirements in two phases. From weaning at either age until they reached 350 kg BW, calves received finishing concentrate A; thereafter and until slaughter, they received finishing concentrate B (Table 1).

When calves reached 450 kg, they were slaughtered in a commercial abattoir (MercaZaragoza, Zaragoza, Spain) 6 km from the Research Station. To minimize pre-slaughter stress, calves were transported on the slaughter day, kept with members of their treatment group and separated from unfamiliar animals, and slaughtered just after they arrived at the abattoir. Animals were stunned using captive bolt pistol and processed following standard commercial practices.

All of the procedures used in this study met the guidelines of the Council Directive 86/609/EEC (European Communities, 1986) on the protection of animals used for experimental and other scientific purposes.

2.2. Measurements

Throughout the experiment, calves were weighed weekly at 0800 h (without prior deprivation of feed and water). ADG was calculated by linear regression of weight on date for each month and for the periods 0 to 90 d, 90 to 150 d, and 150 d to slaughter (finishing phase).

Milk intake was assumed to be the cow milk yield as estimated using the oxytocin and machine milking method (Le Du *et al.*, 1979) at 90 d and in traditionally weaned calves also at 150 d. To analyze the chemical composition of the samples from each cow and milking day, we used an infrared scan (Milkoscan 255 AB, Foss Electric Ltd., Warrington, U.K.). The results were used to calculate energy-corrected milk (ECM) yield (adjusted to 3.5% fat and 3.2% protein content). During the feedlot phase (from weaning to slaughter), concentrate intake was automatically recorded daily on an individual basis. The results were used to determine overall and monthly dry matter intake (DMI) per day, total DMI, and gain to feed ratio (G:F).

2.3. Blood Sampling and Hormone Analyses

To determine IGF-I and leptin concentrations, blood samples were obtained at 0800 h using caudal venipuncture at 90 d, 150 d, and one day before slaughter. Blood samples were allowed to clot for 24 h before the serum was frozen at -20°C . Circulating IGF-I concentrations were quantified using a commercial EIA kit (OCTEIA IGF-I, IDS, Boldon, U.K.), and intra- and inter-assay coefficients of variation were 3.6% and 3.4%, respectively. Serum leptin concentrations were determined using a competitive EIA for leptin in

domestic animals (Sauerwein *et al.*, 2004). Intra- and inter-assay coefficients of variation were 6.6% and 11.5%, respectively.

2.4. Slaughter and Sampling Procedures

After slaughter, carcasses were weighed and, to estimate cold carcass weight, 2% of the weight was subtracted from the gross weight. Dressing percentage was calculated by dividing cold carcass weight by slaughter weight, which was obtained on the day before slaughter. The carcasses were chilled for 24 h at 4° C, and then were graded using the European Grading Systems (Directives (ECC) n° 1208/81 and n° 2237/91). Carcass conformation was evaluated using an 18-point scale (from 1 = poorest, to 18 = best), and fatness was scored using a 15-point scale (from 1 = leanest, to 15 = fattest). To measure subcutaneous fat colour (CIE L* (lightness), a* (redness) b*(yellowness)), we used a spectrophotometer (Minolta CM-2600d, Konica Minolta Holdings, Inc, Osaka, Japan). Those results were used to calculate hue angle values ($(\arctan b^*/a^*) \times 57.29$) (Albertí *et al.*, 2005).

To determine meat pH, instrumental colour, texture, chemical composition, and fatty acid composition, the longissimus thoracis muscle of each left half carcass was removed (between T6 and T11), dissected, and sliced into steaks. Ultimate pH (24 h) was measured using a Crison pH meter (Crison Instruments, SA, Barcelona, Spain). Lean meat colour was measured after 24 h of air exposure with a spectrophotometer. To quantify meat texture, steaks that had been aged for 7 d were subjected to a Warner-Bratzler shear force determination using an Instron shear machine (Model 5543, Instron Limited, Barcelona, Spain) (Honickel, 1998). Before assessing the chemical composition of the meat, the samples were freeze-dried and dry matter content was calculated. Protein content was determined following the Dumas Procedure (AOAC, 1995) using a Nitrogen and Protein analyser (Model NA 2100, CE Instruments, Thermoquest S.A., Barcelona, Spain). Fat content was quantified using the Ankom Procedure (AOCS Am 5-04) with an Ankom extractor (Model XT10, Ankom Technology, Madrid, Spain). Fatty acid (FA) profiles were obtained by following the procedures of Tor *et al.* (2005), modified for beef meat (Blanco *et al.*, in press). Total Saturated FA (SFA), Monounsaturated FA (MUFA), Polyunsaturated FA (PUFA), and the PUFA/SFA ratios were calculated using individual percentages of FA.

2.5. Economic Analysis

The economic benefits of the two calf-management strategies in both breeds were evaluated based on the financial items that differed among strategies. The technical and economic aspects that differed between strategies included weaning weight, calf value at weaning, days at the feedlot, feedlot yardage costs, feed consumption, feed costs, carcass weight, conformation, and selling value of calf at slaughter. The economic margin was calculated as income at slaughter minus calf value at weaning, yardage costs and

feed costs. Actual selling value of calves at weaning, carcasses and concentrate costs in 2004 were used in the analysis. Within the observed weight ranges, price per kg of weaned calf was constant, and price per kg of finished calf depended on conformation score.

2.6. Statistical Analysis

Performance (weight and ADG), feed intake during the finishing phase, IGF-I, and leptin concentrations were analyzed using the MIXED procedure for repeated measures (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA). The model included time by weaning treatment (EW or TW), time by breed (Parda de Montaña or Pirenaica), and time by weaning and breed interactions as fixed effects, and individual as the random effect. A first-order autoregressive structure with heterogeneous variances for each date was used to model heterogeneous residual error. To test for differences in least square means (LS Means), t-tests were used. When a fixed effect was not significant, it was removed from the model.

Energy-corrected milk intake, carcass and meat quality data, and economic results were subjected to Analysis of Variance using the GLM procedure of SAS, with weaning treatment, breed, and their interaction as main effects. When a main effect was not significant, it was removed from the model. Pearson's correlation coefficients between variables were calculated. Tests that had P-values < 0.05 were considered statistically significant; those that had values < 0.10 suggested trends.

3. Results and Discussion

The interaction between age at weaning and breed was not significant for any of the evaluated data, unlike Myers *et al.* (1999a) reported; therefore, the main effects (age at weaning and breed) were examined separately.

3.1. Effect of Age at Weaning

3.1.1. Calf Performance

Weight at birth, ADG from birth to 90 d and, consequently, weight at 90 d did not differ between both treatments (Table 2). Average ECM intake at 90 d was similar for early and traditionally weaned calves (8.0 vs. 7.5 kg/d, respectively; s.e.m. = 1.90, ns), and was positively correlated ($r = 0.62$, $P < 0.001$) with ADG between 0 and 90 d.

Between 90 and 150 d, the ADG of early weaned calves was 42% higher than that of traditionally weaned calves and, consequently, they were 22 kg heavier at 150 d. The improvement of weight gains due to early weaning when calves receive high-concentrate diets has been reported previously (Myers *et al.*, 1999a; Barker-Neef *et al.*, 2001). In our study, early weaned calves had a concentrate intake of 3.41 kg/d and an outstanding G:F (0.37 kg/kg), while traditionally weaned calves had an average ECM intake of 6.7 kg/d at

150 d, which was insufficient for the full expression of their growth potential. Others have documented the relatively greater efficiency of early weaned calves during the early growing phase (Fluharty *et al.*, 2000).

Table 2. Calf performance from birth to 150 d of early weaned and traditionally weaned autumn-born Parda de Montaña and Pirenaica bull calves

	Weaning		Breed		s.e.m.	P-value ¹	
	Early Weaned	Traditionally Weaned	Parda de Montaña	Pirenaica		W	B
Weight, kg							
At birth	44	44	46	42	1.9	ns	ns
At 90 d	121	124	133 ^a	113 ^b	4.7	ns	**
At 150 d	192 ^a	170 ^b	192 ^a	171 ^b	7.6	*	*
ADG, kg/d							
0 to 90 d	0.855	0.892	0.948	0.804	0.0820	ns	†
90 to 150 d	1.255 ^a	0.726 ^b	1.046	0.935	0.0944	***	ns

¹ W = Age at weaning, B = Breed. ^{a, b} Means within a row and main effect lacking a common superscript letter differ ($P < 0.05$). Means with *** differ at $P < 0.001$, ** at $P < 0.01$, * at $P < 0.05$ and † at $P < 0.10$

During the finishing phase (from 150 d to slaughter), the ADG of calves in the two weaning treatments was similar (Table 3). The absence of a difference in weight gain during the finishing phase between early and traditionally weaned animals has been observed in some studies involving steers (Myers *et al.*, 1999c; Fluharty *et al.*, 2000; Schoonmaker *et al.*, 2004), but not in a study of spring-born bull calves under our conditions (Blanco *et al.*, in press). The duration and severity of feed restrictions greatly influence compensatory growth (Ryan, 1990) and, in our study, the restricted growing phase of traditionally weaned calves might have been too short (60 d) to induce compensatory growth when they were given concentrates ad libitum. Weight gains of the two treatments differed between 150 and 180 d, when traditionally weaned calves, which were still acclimatizing to feedlot conditions, had lower weight gains than did early weaned calves (1.210 vs. 1.554 kg/d, respectively; s.e.m. = 0.1211, $P < 0.01$). It was also different between 210 and 240 d, when traditionally weaned calves had a higher ADG than early weaned calves (1.912 vs. 1.488 kg/d, respectively; s.e.m. = 0.1211; $P < 0.001$). At slaughter at 450 kg, traditionally weaned calves were only 17 d older than were early weaned calves (ns).

During the finishing phase, the overall daily DMI of early and traditionally weaned calves did not differ and, consequently, the G:F and total DMI of the two treatments were similar, as Fluharty *et al.* (2000) observed in early and traditionally weaned steers

slaughtered at a target weight. In our experiment, with the exception of the first month, when early weaned calves, which had already adapted to the intensive diet, had a higher daily DMI than did traditionally weaned calves (4.1 vs. 2.7 kg/d, respectively; s.e.m. = 0.33, $P < 0.001$), the two treatments did not differ in feed intake throughout the finishing phase. Over the entire feedlot phase (weaning to slaughter), early weaned calves stayed longer in the feedlot than traditionally weaned calves (217 vs. 174 d, respectively; s.e.m. = 20.1, $P < 0.001$) and had a higher total DMI (1,128 kg vs. 970 kg, respectively; s.e.m. = 92.3, $P < 0.01$). Myers *et al.* (1999c) reported similar findings.

Table 3. Calf performance from 150 d to slaughter in early weaned and traditionally weaned autumn-born Parda de Montaña and Pirenaica bull calves

	Weaning		Breed		s.e.m.	P-value	
	Early Weaned	Traditionally weaned	Parda de Montaña	Pirenaica		W	B
ADG, kg/d	1.628	1.682	1.647	1.663	0.0351	ns	ns
Slaughter weight, kg	449	449	447	451	4.6	ns	ns
Age at slaughter, d	307	324	309	322	20.2	ns	ns
Daily DMI, kg/d	5.83	5.74	5.92	5.65	0.444	ns	ns
Total DMI, kg	908	970	923	956	84.2	ns	ns
G:F, kg/kg	0.28	0.29	0.28	0.30	0.018	ns	ns

3.1.2. Serum IGF-I and leptin concentrations.

Age at weaning affected the time course of the IGF-1 concentrations in serum (Figure 1). At 90 d, early and traditionally weaned calves had similar IGF-I concentrations, but at 150 d, the IGF-I concentrations of early weaned calves were 2.5 times higher than those of traditionally weaned calves ($P < 0.001$). The increase between 90 and 150 d only occurred in early weaned calves ($P < 0.001$) and not in traditionally weaned ones, probably because under conditions of feed restriction, the age-related increase in the IGF-I concentrations of calves can be attenuated (Elsasser *et al.*, 1989; Hayden *et al.*, 1993). From 150 d to slaughter, IGF-I concentrations increased ($P < 0.001$) in both groups of calves and, at slaughter the two treatments had similar values. In that period, the relative increase was higher ($P < 0.001$) in traditionally weaned calves. The different patterns can be attributed to differences in the energy content of the diets.

In our study, the concentrations of leptin in serum were affected by sampling date, only. Early and traditionally weaned calves had similar levels of leptin at 90 d, 150 d, and at slaughter (Figure 1). In both of the treatments, leptin levels increased by > 40% during fattening ($P < 0.001$). An increase in leptin during fattening occurs in bulls (Bellmann *et al.*, 2004) and steers (Hersom *et al.*, 2004).

IGF-I concentrations at 90 d were positively correlated with ADG from birth to 90 d in early ($r = 0.62$) and traditionally weaned calves ($r = 0.59$) ($P < 0.05$). Ellenberger *et al.* (1989) and Hayden *et al.* (1993) also reported positive correlations between IGF-I and ADG in calves. In traditionally weaned calves, IGF-I at 150 d and ADG between 90 and 150 d were positively correlated ($r = 0.83$, $P < 0.001$). On the other hand, early weaned calves had high ADG and IGF-I concentrations, but low leptin concentrations, at 150 d. High IGF-I concentrations have been associated with high protein deposition (Hayden *et al.*, 1993), which is relatively more important in the early feedlot phase (Owens *et al.*, 1995). Thus, lean growth might have mainly occurred during this period, which is consistent with the high feed efficiency observed. Serum IGF-I concentrations at 150 d of early weaned calves was correlated with the daily DMI from 90 to 150 d ($r = 0.66$, $P < 0.05$), G:F from 90 to 150 d ($r = -0.71$, $P < 0.05$), and G:F in the finishing phase ($r = -0.74$, $P < 0.05$). Thus, IGF-I at 150 d could be used as an indicator of feed efficiency during the finishing phase, as was recommended for beef cattle (Moore *et al.*, 2005). In both early and traditionally weaned calves, ADG, IGF-I, and leptin concentrations increased from 150 d until slaughter, but no significant relationship was detected among these variables.

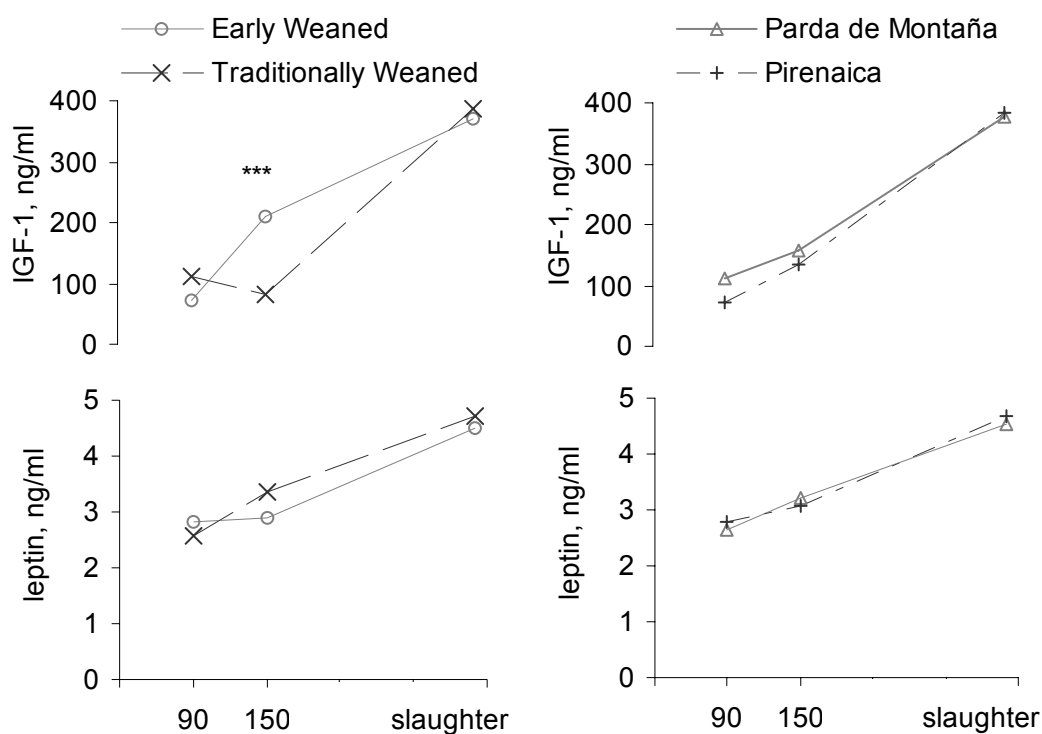


Figure 1. Serum IGF-I and leptin concentrations¹ throughout the production cycle, and age at weaning (left, early weaned at 90 d and traditionally weaned at 150 d) and breed (right, Parda de Montaña and Pirenaica). ¹SED_{IGF-I} = 33.7, SED_{leptin} = 0.3

In early and traditionally weaned calves, leptin concentrations were not correlated with carcass fatness or conformation scores. However, leptin concentration had been proposed as a predictor of carcass composition and quality grade by Geary *et al.* (2003), who found significant correlations between these traits, which was not the case in the current study.

Leptin concentrations at slaughter were positively correlated with fat content of the Longissimus dorsi in traditionally weaned calves ($r = 0.73$, $P < 0.01$), but not in early weaned calves ($r = 0.33$, ns). In our study, only when leptin concentrations were > 4.6 ng/ml was there a positive correlation with intramuscular fat content. Leptin concentrations at slaughter were low because the Parda de Montaña and Pirenaica breeds are relatively lean (see below) and calves were slaughtered at a young age, which is typical of beef production systems in the Mediterranean region. In Wagyu and Holstein steers, circulating leptin concentrations and intramuscular fat content were positively correlated (Wegner *et al.*, 2001). It is possible that during the finishing phase early weaned calves started to deposit fat earlier than did traditionally weaned calves because, from d 90 to 150, early weaned calves had already been intensively fed, while traditionally weaned calves were restricted because they were still nursing their dams. Leptin has a feedback regulation to avoid excessive fattening (Chilliard *et al.*, 1999), which could be acting on early weaned calves in the last part of the finishing phase while traditionally weaned calves were still depositing fat. Thus, the positive correlation between intramuscular fat content and leptin concentrations at slaughter in early weaned, but not in traditionally weaned calves, might be influenced by the stage of fat deposition.

3.1.3. Carcass and meat quality

Age at weaning did not influence carcass weight or dressing percentage (Table 4), which agrees with the results reported in steers slaughtered at a target weight (Fluharty *et al.*, 2000) or backfat thickness (Myers *et al.*, 1999c; Schoonmaker *et al.*, 2004).

In our study, early weaned and traditionally weaned calves had similar fatness and fat colour, but early weaned calves showed better carcass conformation than did traditionally weaned calves ($P < 0.05$). Myers *et al.* (1999a) reported an improvement in the carcass quality of early weaned steers slaughtered at a weight that is similar to the slaughter weight used in our study. When steers (Schoonmaker *et al.* 2004) and bulls (Blanco *et al.*, in press) were slaughtered at heavier weights, age at weaning had no significant effect on conformation or fatness scores, probably because the effect is weakened by a longer feedlot period.

Meat pH did not differ between the two weaning treatments (Table 5) because both of the groups were subjected to the same pre-slaughter management practices and procedures to minimize stress at slaughter. The meat from early and traditionally weaned calves had similar luminosity and Hue angle values. Barker-Neef *et al.* (2001) reported

higher luminosity in traditionally weaned calves than in early weaned calves. In our study, as in others (Barker-Neef *et al.*, 2001; Schoonmaker *et al.*, 2004), early weaned and traditionally weaned calves did not differ in meat tenderness and maximum stress.

Table 4. Carcass characteristics in early weaned and traditionally weaned autumn-born Parda de Montaña and Pirenaica bull calves

	Weaning		Breed		s.e.m.	P-value	
	Early Weaned	Traditionally weaned	Parda de Montaña	Pirenaica		W	B
Carcass weight, kg	258	255	252 ^b	262 ^a	9.8	ns	*
Dressing percentage	57.70	56.90	56.39 ^b	58.26 ^a	1.435	ns	*
Conformation (1-18)	11.2 ^a	10.2 ^b	10.2 ^b	11.2 ^a	0.87	*	*
Fatness score (1-15)	5.4	5.0	5.4	5.0	0.53	ns	ns
Fat colour							
Luminosity (L*)	75.3	75.5	76.5 ^a	74.3 ^b	1.68	ns	*
Hue angle value	83.1	79.6	82.9	79.8	4.38	ns	ns

^{a, b} Means within a row and main effect lacking a common superscript letter differ ($P < 0.05$).

Table 5. Meat pH, instrumental colour, and texture in early weaned and traditionally weaned autumn-born Parda de Montaña and Pirenaica bull calves

	Weaning		Breed		s.e.m.	P-value	
	Early Weaned	Traditionally Weaned	Parda de Montaña	Pirenaica		W	B
pH	5.61	5.56	5.59	5.58	0.081	ns	ns
Instrumental colour							
Luminosity (L*)	43.2	45.1	43.3	45.0	2.53	ns	ns
Hue angle value	46.6	46.6	45.4 ^b	47.8 ^a	2.17	ns	*
Toughness ¹ , kg/cm ²	1.81	1.78	1.91	1.68	0.335	ns	ns
Maximum stress ¹ , kg/cm ²	5.77	5.84	6.29	5.31	1.089	ns	†

¹ After 7 d of ageing ; ^{a, b} Means within a row and main effect lacking a common superscript letter differ ($P < 0.05$).

Age at weaning had little effect on the chemical composition of the meat. Although early weaned calves had a higher percentage of DM than traditionally weaned calves (25.0 and 24.1%, respectively; s.e.m. = 0.55, $P < 0.01$) and, concomitantly, greater protein content expressed on wet basis (23.5 and 22.7%, respectively; s.e.m. = 0.48, $P < 0.01$), the differences were small. When protein content was expressed on a dry-weight basis,

the two weaning treatments did not differ (data not shown). Intramuscular fat content was similar in early weaned (1.9%) and traditionally weaned (1.7%) calves.

Early weaned and traditionally weaned calves had similar meat fatty acid profiles, except for C18:1, which was lower in early than traditionally weaned calves (29.7% vs. 31.6%, respectively; s.e.m. = 1.85, $P < 0.05$). Consequently, total MUFA were lower in early weaned calves than in traditionally weaned calves (Table 6); however, the SFA, PUFA, and PUFA/SFA ratio of the two weaning treatments were similar.

Table 6. Total SFA, MUFA, PUFA, and PUFA/SFA ratio in early weaned and traditionally weaned autumn-born Parda de Montaña and Pirenaica bull calves

	Weaning		Breed		s.e.m.	P-value	
	Early Weaning	Traditionally Weaning	Parda de Montaña	Pirenaica		W	B
SFA, %	43.6	43.9	43.3	44.2	1.46	ns	ns
MUFA, %	33.4 ^b	35.9 ^a	35.3	34.0	2.31	*	ns
PUFA, %	12.7	11.2	11.5	12.4	2.40	ns	ns
PUFA/SFA ratio	0.29	0.26	0.27	0.28	0.063	ns	ns

^{a, b} Means within a row and main effect lacking a common superscript letter differ ($P < 0.05$)

3.1.4. Economic performance

The value of calves at weaning varied with age at weaning. The value of early weaned calves was lower than that of traditionally weaned calves because the former had lower weaning weights (Table 7). Early weaned calves had greater total DMI than did traditionally weaned calves, and their feed costs were almost 20% higher than those of traditionally weaned calves (Table 7). Moreover, because early weaned calves stayed longer in the feedlot, their yardage costs were higher. Thus, the higher cost for the purchase of traditionally weaned calves was compensated for by lower feed and yardage expenses. Consequently, the total costs of early and traditionally weaned calves were similar. Barker-Neef *et al.* (2001) reported similar results. Conversely, Story *et al.* (2000) reported that traditionally weaned steers had lower total costs than did early weaned steers.

Income received for early weaned calves was slightly higher than that of traditionally weaned calves because the value of their carcasses was higher because of their better conformation. When early and traditionally weaned steers had similar carcass qualities, income perceived was similar (Story *et al.*, 2000). Others reported differences associated with the lighter carcasses of early weaned calves (Barker-Neef *et al.*, 2001).

Table 7. Economic performance (Euros) in early weaned and traditionally weaned autumn-born Parda de Montaña and Pirenaica bull calves

	Weaning		Breed		s.e.m.	P-value	
	Early Weaning	Traditionally Weaning	Parda de Montaña	Pirenaica		W	B
Calf price at weaning	518 ^b	553 ^a	542	529	14.3	***	†
Feed cost	262 ^a	224 ^b	240	246	21.4	***	ns
Facility rental cost	46 ^a	37 ^b	40	42	4.2	***	ns
Income	828	802	789 ^b	841 ^a	35.2	ns	**
Economic margin	2	-12	-23 ^b	33 ^a	37.9	ns	**

^{a, b} Means within a row and main effect lacking a common superscript letter differ ($P < 0.05$)

In our study, early weaned calves had a lower value at weaning and higher total costs, but provided a slightly higher income, which compensated for the extra cost associated with the longer intensive phase, and therefore, like Story *et al.* (2000), we found no differences in the economic margins related to weaning strategy.

3.2. Effect of Breed

3.2.1. Calf Performance

Parda de Montaña calves tended ($P = 0.08$) to have a higher overall ADG from birth to 90 d than did Pirenaica calves (Table 2). Similarly, Sanz *et al.* (2003) reported higher weight gains in Parda de Montaña than in Pirenaica calves during this period. In fact, in our study, weight gains of Parda de Montaña and Pirenaica breeds were similar during their first month of life, only, whereas ADG was 15% higher in month 2 ($P = 0.09$) and 28% higher in month 3 ($P < 0.05$) in Parda de Montaña calves. Because of those differences, Parda de Montaña calves were heavier at 90 d than were Pirenaica calves (see also Sanz *et al.*, 2003). At 90 d, Parda de Montaña and Pirenaica calves had similar ECM intakes (8.2 kg/d and 7.3 kg/d, respectively; s.e.m. = 1.90, ns), although other studies have found differences between the breeds (e.g., Casasús *et al.*, 2004).

From 90 to 150 d, regardless of age at weaning, breed did not affect performance (Table 2). Weight gains of Parda de Montaña and Pirenaica suckler calves were similar both nursing (traditionally weaned) and at the feedlot (early weaned). Therefore, the differences in weight at 90 d were maintained at 150 d, when Parda de Montaña calves were 20 kg heavier ($P < 0.05$), which has been observed by Villalba *et al.* (2000). The ECM intakes of nursing calves at 150 d were similar in Parda de Montaña and Pirenaica calves (6.7 vs. 6.6 kg/d, respectively; s.e.m. = 1.78, ns). In the same period, the

concentrate intakes of early weaned calves at the feedlot were similar in Parda de Montaña and Pirenaica calves (3.5 vs. 3.3 kg/d, respectively; s.e.m. = 0.70, ns).

During the finishing phase (150 d to slaughter), the ADG between 150 d and 180 d was higher in Parda de Montaña calves than in Pirenaica calves (1.525 vs. 1.239 kg/d, respectively; s.e.m. = 0.1211, $P < 0.05$). On the contrary, Parda de Montaña calves had lower ADG than Pirenaica calves (kg/d) between 270 and 300 d (1.336 vs. 1.884 kg/d, respectively; s.e.m. = 0.1229, $P < 0.001$), and between 300 and 330 d (1.483 and 1.822 kg/d, respectively; s.e.m. = 0.1712, $P < 0.05$). The high weight gains of Pirenaica calves at the end of the finishing period support their classification as a late-maturing breed (Piedrafita *et al.*, 2003), while weight gains of Parda de Montaña calves must have reached a plateau earlier. Parda de Montaña calves and Pirenaica calves gained weight faster at the beginning and the end of the finishing phase, respectively. Consequently, overall ADG was similar in both breeds (Table 3). Those results are similar to those reported for calves of these breeds weaned at 5 to 6 months and subsequently fed intensive diets (Albertí *et al.*, 1997; Campo *et al.*, 1999; Piedrafita *et al.*, 2003). Thus, the ages at which the target slaughter weight of 450 kg was attained were similar in Parda de Montaña and Pirenaica calves (309 vs 322 d, respectively; s.e.m. = 20.2, ns).

Overall daily DMI and feed efficiency from 150 d to slaughter were similar in the two breeds, as Albertí *et al.* (1997) reported previously. The daily DMI of Parda de Montaña and Pirenaica calves differed only during the first month of the finishing phase (3.9 and 2.9 kg/d, respectively; s.e.m. = 0.34, $P < 0.01$). At the end of the finishing phase, daily DMI was similar in Pirenaica calves and Parda de Montaña calves (7.1 vs. 6.6 kg/d, respectively; s.e.m. = 0.22, ns), but feed intake per kg metabolic weight was higher in Pirenaica calves than in Parda de Montaña calves (74.9 vs. 66.1 g DM/kg LW^{0.75}, respectively; s.e.m. = 3.77, $P < 0.05$), which might explain the higher weight gains by Pirenaica calves at the end of the finishing phase. Over the entire feedlot phase (from weaning to slaughter), total DMI did not differ between Parda de Montaña calves and Pirenaica calves (1,032 vs. 1,066 kg, respectively; s.e.m. = 92.3, ns) nor did the number of days on feed (189 d and 202 d, respectively; s.e.m. = 20.1, ns).

3.2.2. Serum IGF-I and leptin concentrations

Serum IGF-I and leptin concentrations varied with sampling date, but they did not differ between breeds and there was no significant interaction between breed and sampling date. Breed had no effect on IGF-I concentrations (ns), partly because IGF-I showed high individual variability (see also Elsasser *et al.*, 1989). The IGF-I concentrations of the two breeds did not differ at 90 d, 150 d, or at slaughter (Figure 1). Similarly, the leptin concentrations of the breeds were similar at 90 d, 150 d, and at slaughter (ns). Under similar feeding conditions, Parda de Montaña and Pirenaica calves might have similar adipocyte size (Mendizabal *et al.*, 1999), and the size of adipose cells determines the concentrations of circulating leptin (Chilliard *et al.*, 1999).

In both of the breeds, IGF-I at 90 d and ADG from 0 to 90 d ($r = 0.62$), and IGF-I at 150 d and ADG from 90 to 150 d ($r = 0.77$) were correlated ($P < 0.001$). However, IGF-I at slaughter and ADG during the finishing phase were not correlated. Although IGF-I concentrations were indicative of growth potential at some points in the production cycle, it was not a suitable predictor for ADG in the long term (see also Kerr *et al.*, 1991; Connor *et al.*, 2000).

In our study, leptin levels at slaughter were negatively correlated ($r = -0.74$, $P < 0.01$) with the slaughter weight of Pirenaica calves. Similar results have been observed in steers (Geary *et al.*, 2003). In Parda de Montaña calves, leptin levels at slaughter were negatively correlated ($r = -0.58$, $P < 0.05$) with fatness score (Geary *et al.*, 2003). On the other hand, Pirenaica calves, but not Parda de Montaña calves, showed a strong, positive correlation between leptin at slaughter and meat intramuscular fat content ($r = 0.85$; $P < 0.001$). Bellmann *et al.* (2004) reported a positive correlation between leptin concentrations and body fat in Charolais, but not in Holstein, bull calves. In our study, intramuscular fat content in Parda de Montaña calves was comparatively low for the breed standards (see below), which might have been responsible for the absence of correlations. In another study, Parda de Montaña calves slaughtered at heavier weights than in this study had higher intramuscular fat content, which was positively correlated with leptin concentrations at slaughter (Blanco, unpublished data).

3.2.3. Carcass and meat quality

Despite similar slaughter weights, Pirenaica calves had better conformed ($P < 0.05$) and heavier carcasses ($P < 0.05$), and concomitant higher dressing percentages ($P < 0.05$) than did Parda de Montaña calves (Table 4). The two breeds had similar fatness score (see also Campo *et al.*, 1999). When Pirenaica and Parda de Montaña calves were slaughtered at heavier weights, however, dressing percentage and conformations did not differ, although the carcasses of Pirenaica calves were leaner than those of Parda de Montaña calves (Piedrafita *et al.*, 2003). Breed influenced subcutaneous fat colour (Table 4). The two breeds had similar Hue angle values, but Parda de Montaña calves had greater luminosity than did Pirenaica calves. Sañudo *et al.* (1998) found differences in both traits.

As expected, the meat pH of the two breeds did not differ (Table 5), were within the range expected for animals that have not been stressed before slaughter, and were similar to those reported by Sañudo *et al.* (1998). The breeds did not differ in luminosity (Table 5), but Hue angles were higher in Pirenaica calves than in Parda de Montaña calves ($P < 0.05$), which was observed by Sañudo *et al.* (1998) in calves at a similar slaughter weight. In our study and those of Sañudo *et al.* (1998) and Campo *et al.* (1999), meat toughness was similar in both breeds (Table 5), but Pirenaica calves tended to have maximum stress values that were lower than those of Parda de Montaña calves ($P = 0.08$). When calves of both breeds were slaughtered at 330 kg, toughness and maximum

stress were higher in Parda de Montaña calves than in Pirenaica calves, but the differences disappeared at a 550-kg slaughter weight (Sañudo *et al.*, 2004). Therefore, at the intermediate slaughter weight used in our study (450 kg), it is understandable that Pirenaica calves tended to have lower values for maximum stress.

Breed did not influence meat chemical composition on a wet-weight basis. Parda de Montaña and Pirenaica calves had similar values of DM (24.4% and 24.6%, respectively; s.e.m. = 0.55, ns), protein content (23.1% and 23.1%, s.e.m. = 0.48, ns), and intramuscular fat content (1.9% and 1.7%, s.e.m. = 0.45, ns). The latter finding differs from studies in which Pirenaica calves were leaner than were Parda de Montaña calves (Campo *et al.*, 1999; Piedrafita *et al.*, 2003), which was attributed to the differing maturation rates of the two breeds. In those studies, however, Parda de Montaña calves had higher carcass fatness scores and meat fat content than the Parda de Montaña calves examined in our study.

The two breeds had similar fatty acid composition. Indeed, only C16:0 (24.3% and 22.3% for Parda de Montaña and Pirenaica calves, respectively; s.e.m. = 1.18, $P < 0.01$) and C14:0 (2.4% and 2.8%, respectively; s.e.m. = 0.41, $P = 0.05$) were different between the breeds, which had similar SFA, MUFA, PUFA, and PUFA/SFA ratio (Table 6). Insausti *et al.* (2004) reported differences between the two breeds in most of the fatty acids and intramuscular fat content, but not in the SFA, MUFA, PUFA, and PUFA/SFA ratio.

3.2.4. Economic performance

In our study, at weaning, Parda de Montaña calves were heavier than Pirenaica calves, which led to a slightly higher value for Parda de Montaña calves at weaning ($P = 0.09$). Parda de Montaña and Pirenaica calves had similar concentrate intakes throughout the cycle; thus, feed costs for the two breeds were similar (Table 7). On the other hand, Pirenaica calves stayed in the feedlot facility only 13 days longer than did Parda de Montaña calves; consequently, yardage expenses were not different between the two breeds. Pirenaica calves had heavier and better-conformed carcasses; therefore, income received was 7% higher for their carcasses than for the carcasses of Parda de Montaña calves ($P < 0.01$). Total costs were similar, but income was higher from Pirenaica calves than from Parda de Montaña calves. Consequently, the economic margin was higher for Pirenaica calves, which makes this breed more interesting economically to feedlot producers or suckler cattle farms that retain ownership of calves throughout the feedlot phase (Casasús *et al.*, 2006).

4. Conclusion

The interaction between age at weaning and breed was not significant in any of the parameters studied. Age at weaning influenced growth patterns, but overall production and economic performance were similar in the two weaning treatments, and differences in

carcass and meat quality were only minor. The two breeds had similar growth patterns, which differed slightly at certain times. Feed costs were similar for Parda de Montaña and Pirenaica calves, but the carcasses of Pirenaica calves yielded higher income, which led to a better economic performance by Pirenaica calves compared to Parda de Montaña calves. Thus, based on calf productive and economic performance, regardless of the breed, both weaning strategies are suitable for autumn-calving farms when calves are fattened within the system, whereas the use of the Pirenaica breed is more profitable under the conditions described in this study. Economic results should be regarded cautiously, because they were obtained in only one year, while the price of the system inputs and outputs may vary in time. However, the technical results reported in this study provide the basis for further economic evaluations in the event of changing economic conditions.

Ensayo 4. Efecto de la edad al destete sobre la respuesta al estrés y miedo frente a humanos en dos razas de vacuno de carne

Este trabajo ha dado lugar a la publicación “**Effect of age at weaning on stress response and fear to humans of two beef cattle breeds**”. M. Blanco, I. Casasús, J. Palacio. Animal (enviado)

Abstract

The study was conducted to evaluate the effect of age at weaning and breed on the stress response of calves to weaning and their fear to humans. At calving, 14 Parda de Montaña calves and 14 Pirenaica calves were randomly assigned to either early weaning (at 90 d) or traditional weaning (at 150 d) treatment. During nursing, calves were allowed to suckle their dams twice a day for 30 min, after weaning they were placed in an adjacent barn without access to their dams, where they remained for a 7 days. On d 8 after weaning, they were transported to a feedlot where they received an intensive diet. Blood samples were taken -168, 6, 24, 48 and 168 h after weaning for cortisol, fibrinogen and haematology analyses, and temperament was measured 90 and 180 d after weaning with the flight speed test. Cortisol concentration increased after weaning, irrespectively of age at weaning. On the other hand, early weaned calves had lesser basal fibrinogen concentration and a greater increase of fibrinogen concentrations 48 h after weaning than traditionally weaned calves. Moreover, fibrinogen concentration returned to basal values 168 h after weaning in traditionally weaned calves whereas it remained high in early weaned calves. Concerning breed, Pirenaica calves had greater cortisol concentrations and fibrinogen increments after weaning than Parda de Montaña calves. Slight alterations occurred after weaning in haematology, but all parameters returned to basal values 168 h after weaning, with no significant effects of age at weaning or breed. Despite the absence of clinical signs, early weaned calves of both breeds suffered anaemia according to hemoglobin values. Regardless of age at weaning, Pirenaica calves had greater reactivity to human presence than Parda de Montaña calves, according to their greater speed values measured. Finally, early weaned calves were lighter than traditionally weaned calves at weaning, but had similar weight gains in the feedlot. Consequently they needed an additional 40 d to reach the target weight, irrespectively of breed. Therefore, age at weaning had no major effects on the stress response to weaning or fear to humans, but it increased the length of the feedlot period. On the other hand, Pirenaica calves were more reactive than Parda de Montaña calves to the stress of weaning and human presence.

Keywords: age at weaning, breed, calves, handling, stress

1. Introduction

In European dry mountain areas, the harsh climate imposes long winter housing periods for suckler cattle farms (Casasús *et al.*, 2002). In the Spanish Pyrenees, autumn-born calves are traditionally reared indoors with their dams and they are weaned at the start of the spring (ca. 5 mo). Thereafter, calves are fed intensive diets while cows are turned out to forest pastures. In these conditions, the reduction of winter feed costs by outwintering the dams and weaning the calves earlier could be an efficient strategy, provided this management does not impair calf performance in the whole production cycle.

However, early weaning demands a more careful management of the calf than late weaning (SCAHAW, 2001).

Previous studies indicate that breaking the maternal bond is stressful to the calf (Phillips *et al.*, 1989). A newly weaned calf is denied its dam's milk and social contact with its dam and other adult cattle (Stokey *et al.*, 1997). Moreover, a primary socialization with the dam prevents a secondary socialization developing with humans, until the calf is isolated from the dam (Boivin *et al.*, 2001; Krohn *et al.*, 2003).

Age at weaning affects the subsequent performance of calves (Myers *et al.*, 1999c) and may influence their stress response. In fact, early weaned calves were more tolerant to stressors associated with transport and feedlot entry (Arthington *et al.*, 2005). Tolerance to stressors may also be influenced by breed, because genetic factors can be important in the neuroendocrine and metabolic adaptation to stressing conditions. Pirenaica and Parda de Montaña breeds have similar mature weight but different milk production, calf growth (Casasús *et al.*, 2002; Villalba *et al.*, 2000), and sensitivity to stress (García-Belenguer *et al.*, 1996; Palacio, 2000). The objective of this study was to assess the effect of age at weaning on the physiological response, immune function, fear reactions to humans and performance in Parda de Montaña and Pirenaica calves.

2. Material and Methods

2.1. Animal Care, Handling and Diet

This study was conducted in La Garcipollera Research Station (CITA-Aragón), in the mountain area of the central Pyrenees (Spain, 42°37' N, 0°30'W; 945 m a.s.l.). All procedures were conducted according to the guidelines of the Council Directive 86/609/EEC (European Communities, 1986) on the protection of animals used for experimental and other scientific purposes.

The cows and calves involved in this experiment were derived from a larger experimental suckler cattle herd, composed by 2 of the more widespread cattle breeds in the Spanish Pyrenees: Parda de Montaña (PM) and Pirenaica (Pi). Twenty-eight autumn-born male calves were used in a 2 × 2 factorial design to determine the effects of breed and age at weaning on stress response, performance and fear to humans. At birth (average birth date October 20) calves of both breeds (PM and Pi) were randomly assigned to 1 of 2 ages at weaning: early weaning (EW, 90 ± 1.8 d postpartum) or traditional weaning (TW, 150 ± 2.2 d postpartum). Resulting treatments were EW-PM, EW-Pi, TW-PM and TW-Pi, with 7 calves per treatment.

Cows and calves remained the entire lactation period loose-housed. Cow productive data and system economic performance have been reported elsewhere (Casasús *et al.*, 2006). During the lactation period, calves were kept in cubicles adjacent to their dams and were allowed to suckle twice daily for 30 min at 0800 and 1600 h. A week after birth, calves were disbudded by cautery with local anaesthesia. When calves were 75-d old,

they were vaccinated against RSV, PI3 and *Mannheimia (Pasteurella) haemolytica* (Bovipast RSP®, Intervet, Milton Keynes, UK), IBR (Ibraxion®, Merial, Lyon, France) and *Chlostridium perfringens* (Polibascol®, Schering-Plough, Kenilworth, USA).

After weaning at 90 or 150 d, calves were taken to an adjacent barn without any physical access, eye or ear contact with their dams. Calves from both breeds were mixed in the same pen, where they remained for 7 days. On d 8 after weaning, they were transported in a commercial livestock trailer to a feedlot facility in CITA Research Station (41° 43' N, 0° 48' W; 225 m a.s.l.). During the feedlot phase, calves were randomly assigned to 1 of 2 pens equipped with individual ALPRO feeding stations (Alfa Laval Agri, Tumba, Sweden) until they reached the target slaughter weight of 450 kg.

From weaning until calves reached 350 kg live weight, they received on an ad libitum basis a concentrate with maize (30%), barley (27.3%), soybean meal (24%) and gluten feed (10%) as the main feedstuffs (11.47 MJ ME/kg DM, 14.9% CP, 0.76% Ca, 0.87% P). From 350 kg to slaughter, the composition of the concentrate fed to the calves was mainly maize (32%), barley (23.5%), gluten feed (12%) and sugar beet pulp (10%) (11.65 MJ EM/kg DM, 13.7% CP, 0.80% Ca, 0.78% P). Both concentrates had mineral and vitamin supplements. Barley straw and water were offered ad libitum.

Throughout the whole experiment calves were habituated to human handling. Calves were weighed weekly during the whole production cycle, at 0800 h without previous withdrawal from feed and water. Average daily gain (ADG) in the feedlot was calculated from these data by linear regression of weight on date.

2.2. Sample Collection

To evaluate stress response of calves, blood samples were obtained by jugular venipuncture 168 h before weaning (basal concentration), 6, 24, 48 and 168 h after weaning, following the procedures of Hickey *et al.* (2003). A total of 3 aliquots were taken each time for cortisol, fibrinogen and haematology determination.

2.3. Cortisol Determination

Each sample was collected into a vacutainer containing potassium-EDTA. Blood samples were held on ice, and centrifuged for 12 min at 3000 × *g* in a cooled centrifuge (4°C). Plasma was extracted and stored in aliquots at -20°C for subsequent cortisol assay. Cortisol concentrations in plasma were determined by an EIA validated for bovine (Chacón *et al.*, 2004), with inter- and intra-assay coefficients of variation of 7.3% and 9.8%. All samples were run in duplicate.

2.4. Fibrinogen Determination

Each sample was collected into a vacutainer containing sodium citrate as anticoagulant. Blood samples were held on ice, and centrifuged for 12 min at 3000 × *g* in

a cooled centrifuge (4°C). Citrated plasma was harvested and stored in aliquots at -20°C for subsequent fibrinogen analysis. Plasma fibrinogen concentrations were determined in duplicate by using a fibrinogen assay set from Pacific Hemostasis (Cape Town, Southafrica) in a coagulometer Clot-SP[®] (RAL, Barcelona, Spain). Results were expressed as mg of fibrinogen per dl of plasma.

2.5. Haematology

Each sample was collected into a vacutainer containing potassium-EDTA. Blood samples were maintained at 4 °C until the following day for the analysis. White blood cell (WBC) number, differential WBC (neutrophils, lymphocytes, monocytes, eosinophils and basophils), red blood cells (RBC), hematocrit (HCT), and hemoglobin (Hb) were determined for unclotted (EDTA) whole-blood samples using a cell counter (Hemavet[®] 850 automated multispecies hematology system, CDC Technologies, Inc., Centerville, USA). Neutrophil:Lymphocyte (N:L) ratio was calculated.

2.6. Flight Speed Test

The flight speed of individual calves was determined by the method of Burrow *et al.* (1988) at 90 and 180 d after weaning. It was calculated by the time taken for a calf to cover 1.7 m after leaving a weighing chute. Duplicates were carried out in the same location on 2 consecutive days. The average of both values was used to calculate flight speed, expressed in m/s. All calves were previously exposed to experimental conditions, which included a weigh scale, while undergoing common cattle management handling routines (e.g. weighing or vaccination). Calves were moved as a group from their pen to the chute in a calm manner by the same experienced stock people each time. Immediately after the entry into the chute, the calves were identified from their ear tag. Upon release from the chute, the calves proceeded at their own pace along a single straight alley. The subject could not see other calves while proceeding down the alley. Measurements were taken between 0930 h and 1100 h. This test imposed conditions of close human contact, social isolation and physical restraint on the calf.

2.7. Statistical Analysis

Statistical analysis of calf performance (weight and ADG) was achieved by ANOVA using the GLM procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA) including age at weaning (EW vs. TW), breed (PM vs. Pi) and their interaction as fixed effects. Haematological parameters, cortisol, fibrinogen and flight speed test data were analyzed using the MIXED procedure of SAS for repeated measures including age at weaning, breed, time and their interactions as fixed effects and animal as the random effect, with an unstructured covariance matrix within animal. Least square means (LS Means) were estimated and differences between LS Means were tested with a t-test. When a fixed effect was not significant it was removed from the model. Spearman's rank correlation

coefficients were used to test the relationships between flight speed score and ADG, the order of entry into the chute at each occasion when flight speed was measured, as well as repeatability of the flight speed test, to identify consistency of temperament between days of test (90 and 180 d postweaning). For all tests level of significance was 0.05. *P*-values less than 0.10 are discussed as trends.

3. Results

Interactions between breed and age at weaning were not significant in any of the parameters studied.

3.1. Cortisol concentration

Mean cortisol concentrations are reported in Table 1. Plasma cortisol concentrations were lesser than 10 ng/ml in all calves at all sampling times. Cortisol concentrations increased significantly after weaning (6 h) in both EW ($P < 0.05$) and TW calves ($P < 0.01$) and did not recover basal concentrations by 168 h postweaning in either of them. There was no effect of age at weaning on cortisol concentrations at any sampling time. Concerning the breed effect, Pi calves had greater concentrations than PM calves at 6 h postweaning, which tended to be greater at 168 h postweaning.

Table 1. Effect of sampling time, age at weaning (W) and breed (B) on plasma cortisol and fibrinogen concentrations around weaning

	Sampling time	Age at weaning		Breed		s.e.m.	<i>P</i> -value	
		TW	EW	PM	Pi		W	B
Cortisol, ng/ml								
	- 168 h	2.01 ^a	1.13 ^a	0.95 ^a	2.20 ^a	0.435	ns	ns
	+ 6 h	5.85 ^b	4.23 ^b	3.13 ^{ab}	6.95 ^b	0.771	ns	**
	+ 24 h	6.15 ^b	5.88 ^{bc}	5.21 ^b	6.82 ^b	0.450	ns	ns
	+ 48 h	5.32 ^b	5.24 ^{bc}	4.45 ^b	6.12 ^b	0.246	ns	ns
	+ 168 h	5.03 ^b	7.53 ^c	4.84 ^b	7.72 ^b	0.873	†	*
Fibrinogen, mg/dl								
	- 168 h	209 ^a	145 ^a	197 ^a	157 ^a	10.4	*	ns
	+ 6 h	205 ^a	196 ^b	211 ^a	189 ^{ab}	8.5	ns	ns
	+ 24 h	217 ^a	213 ^b	248 ^b	182 ^{ab}	4.3	ns	**
	+ 48 h	292 ^b	282 ^c	275 ^b	299 ^c	10.7	ns	ns
	+ 168 h	226 ^a	301 ^c	317 ^c	211 ^b	14.0	**	***

^{a,b,c} Means with different superscripts within a column differ among sampling time, $P < 0.05$. Means with *** differ at $P < 0.001$, ** at $P < 0.01$, * at $P < 0.05$, † at $P < 0.10$

3.2. Fibrinogen concentration

Pre-weaning plasma fibrinogen concentrations were low, indicating that there were minimal underlying inflammatory conditions in the calves (reference values 100-400 mg/dl) (Table 1). The pattern of evolution of fibrinogen concentrations in time was different according to age at weaning: TW calves had greater fibrinogen concentration than EW calves before weaning, it increased markedly at 48 h, and concentration returned to basal values after 168 h in TW calves, while it remained elevated in EW calves. When the increment at 48 h from basal values was studied, EW calves had a greater increment than TW calves (127 vs. 56 mg/dl, respectively; s.e.m. = 39.2, $P < 0.05$). Calves of Pi breed had lesser fibrinogen concentration than PM calves at 24 h and 168 h after weaning, and slightly greater increments at 48 h (118 vs. 65 mg/dl; s.e.m. = 39.2, $P = 0.07$).

3.3. Leukocyte population

Leukocyte profile is presented in Table 2. Age at weaning and breed affected slightly the pattern of change in WBC concentration in time. The youngest calves (EW) had less total WBC concentration at the basal sample, but thereafter this parameter was unaffected by age at weaning. Weaning increased total WBC more clearly in EW calves ($P < 0.05$), but concentrations declined at 168 h to similar values than the ones obtained at the basal conditions. Concerning the breed effect, PM calves showed a slight leukocytosis at 6 h, 24 h and 48 h that decreased at 168 h postweaning, whereas concentrations of Pi calves were not affected by weaning and remained constant throughout the study.

There was no effect of age at weaning or breed on neutrophil and lymphocyte proportion and N:L ratio at any sampling time (Figure 1), but their patterns of change throughout the study were different. Concerning the neutrophil proportion, EW calves showed a clear neutrophilia after weaning (6 h), recovering basal values at 168 h, whereas the change was less evident in TW calves. Lymphocyte proportion decreased in TW calves 24 h and 48 h after weaning, whereas in EW calves this occurred 48 h after weaning. The N:L ratio reached a maximum at 48 h both in EW and TW calves. PM calves had an increase of N:L ratio 48 h after weaning, when it tended to be different between breeds ($P = 0.08$), whereas Pi calves had no change in this ratio. In general, all leucograms returned towards basal values 168 h after weaning.

3.4. Erythrocyte population

Age at weaning affected some red cell parameters irrespectively of breed (Table 3). TW calves presented greater basal values of RBC, Hb and HCT than EW calves. Significant differences also appeared 24 h after weaning, younger calves (EW group) showing lesser values than TW calves. The characteristic erythrocytosis of an acute stress response was not observed.

Table 2. Effect of sampling time, age at weaning (W) and breed (B) on measures of the leukocyte population around weaning

Item	Sampling time	Age at weaning		Breed		s.e.m.	P-value	
		TW	EW	PM	Pi		W	B
White blood cells, thousands/ml	- 168 h	12.4 ^a	9.1 ^a	11.3 ^{ab}	10.2	0.30	**	ns
	+ 6 h	11.2 ^{ab}	11.1 ^b	12.5 ^a	9.8	0.49	ns	**
	+ 24 h	12.3 ^a	11.1 ^b	12.6 ^a	10.8	0.43	ns	†
	+ 48 h	11.4 ^{ab}	11.3 ^b	12.1 ^a	10.6	0.58	ns	ns
	+ 168 h	10.0 ^b	10.6 ^{ab}	9.9 ^b	10.6	0.39	ns	ns
% Neutrophil	- 168 h	32.0 ^a	30.5 ^a	31.9 ^a	30.6 ^{ab}	1.41	ns	ns
	+ 6 h	33.4 ^{ab}	40.0 ^b	36.2 ^{ab}	37.2 ^a	1.52	ns	ns
	+ 24 h	39.3 ^a	33.5 ^b	36.9 ^{ab}	35.9 ^a	1.00	ns	ns
	+ 48 h	42.1 ^{ab}	35.4 ^b	40.4 ^b	37.1 ^a	1.90	ns	ns
	+ 168 h	27.8 ^b	31.3 ^{ab}	30.7 ^a	28.5 ^b	2.09	ns	ns
% Lymphocyte	- 168 h	59.9 ^a	58.7 ^a	58.5 ^a	60.2 ^a	1.48	ns	ns
	+ 6 h	55.4 ^a	51.8 ^{ab}	53.4 ^a	53.8 ^b	1.59	ns	ns
	+ 24 h	51.8 ^b	57.0 ^a	54.7 ^a	54.2 ^b	1.16	ns	ns
	+ 48 h	46.9 ^b	48.9 ^b	44.9 ^b	50.9 ^b	2.49	ns	ns
	+ 168 h	62.5 ^a	58.5 ^a	58.8 ^a	62.2 ^a	2.00	ns	ns

^{a,b,c} Means with different superscripts within an item and column differ among sampling time, $P < 0.05$

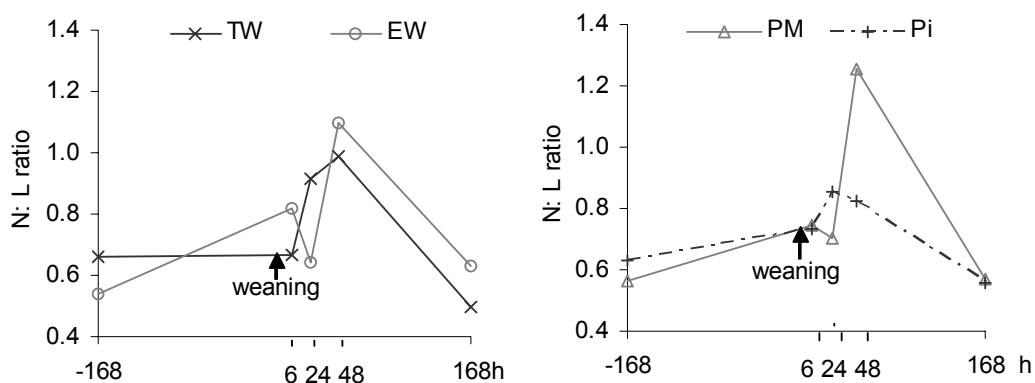


Figure 1. Effect of age at weaning (EW, Early weaned vs. TW, Traditionally weaned) and breed (PM, Parda de Montaña vs. Pi, Pirenaica) on N:L ratio; No significant differences ($P > 0.10$) between effects at any sampling time

Table 3. Effect of sampling time, age at weaning (W) and breed (B) on the measures of the erythrocyte population around weaning

Item	Sampling time	Age at weaning		Breed		s.e.m.	P-value	
		TW	EW	PM	Pi		W	B
Red blood cells, millions/ μ L	- 168 h	11.9 ^a	10.5 ^a	11.7 ^a	10.7 ^a	0.16	*	ns
	+ 6 h	10.4 ^{bc}	10.2 ^{ab}	10.5 ^b	10.1 ^{ab}	0.26	ns	ns
	+ 24 h	11.1 ^b	9.7 ^{ab}	11.0 ^{ab}	9.8 ^b	0.13	*	†
	+ 48 h	10.8 ^{bc}	9.5 ^b	10.8 ^b	9.5 ^b	0.17	†	*
	+ 168 h	10.3 ^c	10.1 ^{ab}	10.5 ^b	9.9 ^{ab}	0.22	ns	ns
Hemoglobin, g/dl	- 168 h	9.4 ^a	7.3	8.8	8.0	0.16	***	ns
	+ 6 h	8.2 ^b	7.6	8.1	7.7	0.18	ns	ns
	+ 24 h	8.9 ^{ab}	7.5	8.4	7.9	0.13	**	ns
	+ 48 h	8.7 ^b	7.6	8.4	7.9	0.19	*	ns
	+ 168 h	8.5 ^b	7.8	8.3	8.0	0.21	ns	ns
Hematocrit, %	- 168 h	29.4 ^a	23.2	28.0 ^a	24.6 ^a	0.45	**	ns
	+ 6 h	25.8 ^b	22.6	25.2 ^b	23.1 ^{ab}	0.62	ns	ns
	+ 24 h	27.7 ^a	21.7	26.6 ^{ab}	22.8 ^{ab}	0.33	**	†
	+ 48 h	26.9 ^b	21.5	26.3 ^{ab}	22.1 ^b	0.45	**	*
	+ 168 h	26.1 ^b	22.5	25.4 ^b	23.3 ^{ab}	0.63	†	ns

^{a,b,c} Means with different superscripts within an item and column differ among sampling time, $P < 0.05$

3.5. Flight speed test

There was no effect of age at weaning on flight speed values recorded at 90 and 180 d after weaning (Table 4). Exit velocities of Pi calves tended to be greater than those of PM calves at 90 d post weaning, and were significantly greater at 180 d ($P < 0.05$). Entry order of individual calves in duplicate sessions was significantly correlated (90 d: $R_s = 0.77$, $P < 0.001$; 180 d: $R_s = 0.82$, $P < 0.001$); however, no significant correlations were observed between entry order and speed values at each session. Repeatability of flight speed measures obtained through correlation between repetitions of the test, showed significant coefficients at 90 d ($R_s = 0.67$, $P < 0.001$) and 180 d ($R_s = 0.45$, $P < 0.05$). Paired t-test for 90 d and 180 d, did not show any significant difference between both speed values (ns). No correlations showed off between flight speed values and ADG in the feedlot phase.

Table 4. Effect of age at weaning (W) and breed (B) on flight speed test results performed at 90 and 180 d postweaning

Item	d after weaning	Age at Weaning		Breed		s.e.m.	P-value	
		TW	EW	PM	Pi		W	B
Speed, m/s	90 d	0.87	0.88	0.68	1.06	0.078	ns	†
	180 d	0.78	0.82	0.56	1.04	0.090	ns	*

3.6. Feedlot performance

Calf performance in the feedlot (from weaning to slaughter) is reported in Table 5. As EW calves were 50 kg lighter at weaning than TW calves and had similar ADG during the feedlot phase, they needed an additional 40 d than TW calves to attain the target slaughter weight (450 kg) at a similar age (307 vs. 324 d for EW and TW respectively; s.e.m. = 20.2, ns). Concerning the breed effect, PM calves were slightly heavier than Pi calves at weaning but ADG was not affected by breed, therefore PM and Pi calves needed similar days at the feedlot to reach 450 kg at a similar age (309 and 322 d, respectively; s.e.m. = 20.2, ns).

Table 5. Effect of age at weaning (W) and breed (B) on feedlot performance

Item	Age at Weaning		Breed		s.e.m.	P-value	
	TW	EW	PM	Pi		W	B
Weaning weight, kg	170	121	155	137	18.9	***	†
ADG, kg/d	1.682	1.600	1.652	1.630	0.1028	ns	ns
Days at feedlot	174	217	189	202	20.1	***	ns

4. Discussion

Weaning is a gradual process during which the young animal receives decreasing amounts of milk while solid food intake increases (EFSA, 2006). Natural weaning in cattle takes place when calves are around 8-9 mo of age. In beef cattle herds, calves are generally abruptly weaned between 5 and 10 mo of age depending on the calving season, which is a stressful event for the calf (Bueno *et al.*, 2003). Moreover, other events often take place around the same time, increasing the stress of the calves (e.g., the separation from the mother, transport, mixing with new animals, changes in diet and environment, dehorning or castration). However, newly weaned calves in the current experiment did not suffer additional stress due to transport, dehorning, or castration because they had already been disbudded, they were transported but a week after weaning and castration did not occur.

According to SVC (1995), calves should not be weaned off milk before the calf is 35-d old. On the other hand, the EFSA (European Food Safety Authority) scientific report (2006)

suggested that “calf weaning should be based on the amount of dry feed calves ingest per day, not on their age or weight”. In the current experiment, straw was used as bedding material and it was eaten by calves, although straw intake was not recorded.

Factors known to influence stress response, including gender, nutrition, and previous management experiences were kept as similar as possible to make a more accurate comparison of how calves respond to weaning on the basis of age and genotype.

4.1. Cortisol concentration

In the current study, plasma cortisol concentration increased for all calves up to 168 h after weaning. Hickey *et al.* (2003) reported an increase of cortisol concentration up to 168 h due to social group disruption but not to weaning. Discrepancies between the findings of Hickey *et al.* (2003) and the present study may be attributed to differences in age at separation, breed or calf management, as calves in our study were subjected to restricted suckling. Previous management of the animals can have a great impact on perception of and response to stress (Phillips, 1984). In fact, calves that had been on pasture for 6 mo before weaning had greater cortisol response, above 10 ng/ml (Fell *et al.*, 1999), than the ones in the current study (increase around weaning: 3-4 ng/ml). The restricted suckling in our study (twice daily) compared with *ad libitum* suckling in others that involve abrupt and absolute removal of the offspring (Lefcourt and Elsasser, 1995) allowed a minor perception of separation from the dam as a stressful situation. Small increases in cortisol due to weaning were also described by Crookshank *et al.* (1979) and Lefcourt and Elsasser (1995).

Furthermore, the lack of a greater cortisol response could be attributed to the fact that cortisol concentrations had peaked between basal and 6 h samples and could not have been detected. In addition, Henry (1993) stated that differing perceptions of stress result in different patterns of neuroendocrine activation. In this study, the pre-weaning nutritional and environmental management may have allowed the habituation of calves to postweaning conditions. Therefore, calves may have reacted with a coping pattern that did not involve a loss of control over the situation, resulting in little change in corticoid release. Another mechanism for the lack of a greater cortisol response is an age-dependent mechanism. According to the results of Bueno *et al.* (2003), who studied the cortisol response to weaning in 150, 210 and 270 d old heifers, weaning at 150 d failed to elicit a measurable difference in plasma cortisol values between weaned and non-weaned groups, whereas older calves are more capable of initiating favourable short-term stress response mechanisms.

Fell *et al.* (1999) studied the correlation between temperament, evaluated with flight speed at weaning and 21 d postweaning, and cortisol concentrations in beef calves. Poor temperament was related with increased cortisol concentrations. However, in the current experiment no correlations showed off, partially because our breeds, according to flight

speed values, were calmer than the ones of the study cited above. Moreover, flight speed test was performed 3 and 6 mo after weaning, probably too far away from weaning to be related with cortisol values around weaning.

Breed affected cortisol concentration in certain moments (at 6 and 168 h), when Pi calves had greater concentrations than PM calves. Zavy *et al.* (1992) reported that genotype had a significant effect on baseline cortisol values in beef calves. Moreover, previous works in calves of these breeds showed no differences in baseline values between breeds, but Pi calves had greater cortisol concentration than PM calves after exercise, which was attributed to differences in the hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis reactivity (García-Belenguer *et al.*, 1996).

4.2. Fibrinogen concentration

Physical and psychological stress elevates acute phase proteins (APP) concentrations, and therefore, assessment of APP may be a useful indicator of stress responses in calves under common handling procedures, such as weaning, transportation or commingling (Arthington *et al.*, 2003). Despite haptoglobin is a major APP that increases 100-fold upon stimulation in cattle (Wittum *et al.*, 1996), the effect of weaning was not associated with it, whereas alterations in fibrinogen did (Hickey *et al.*, 2003). Specifically, fibrinogen is involved in homeostasis and in tissue repair. Changes in plasma fibrinogen concentration reflect the magnitude and duration of activity of the adrenal gland, thus they may be an indicator of the extent and persistence of stresses (Phillips, 1984). In addition, there is a delay between the imposition of a stress and the response of increased fibrinogen synthesis, so that changes in plasma cortisol concentration occur more rapidly than changes in plasma fibrinogen concentration (Phillips, 1984).

In the current study, fibrinogen concentrations showed greater basal values in calves weaned at 150 d than 90 d of age. This result could be due to the fact that plasma total proteins in cattle increase with age (Payne and Payne, 1987). On the other hand, similarly to the results reported in calves weaned at 7 and 8 months (Phillips *et al.*, 1989; Hickey *et al.*, 2003), fibrinogen concentration of TW calves was elevated at 48 h and declined at 168 h to pre-weaning values. Younger calves, however, did not recover their basal values at this time, which could be due to the greater increment showed by this group at 48 h.

Increases reported here could be classified as moderate, which were expected to occur in response to common management stimuli in ruminants (2-10 fold increase). Fibrinogen is used in cattle and sheep as a reliable indicator of the presence of inflammation, bacterial infection or surgical trauma, but in these cases concentration increments are greater than those reported in this paper (Duncan and Prasse, 1986; Earley and Crowe, 2002). Increases in fibrinogen concentration could also be the result of hemoconcentration. However, HCT was determined at the same time as fibrinogen concentration and did not show any increase due to weaning or dehydration.

The measured range of fibrinogen did not differ greatly from ranges reported by Earley and Crowe (2002) in unstressed Friesian calves of 5.5 mo. Therefore, there were no subclinical signs of poor health up to 7 d postweaning.

Concerning breed, our data showed significant differences at 24 h and 168 h, Pi calves had the lowest concentrations, but at 48 h, Pi calves showed greater peaks than PM calves. In the same sense, Phillips *et al.* (1989) reported breed differences at weaning in fibrinogen concentration, calves with Brahman breeding presenting greater values than Angus x Hereford calves.

4.3. Leukocyte population

Weaning has been regarded as influencing immunity via stress-related mechanisms (Griffin, 1989). In this study, weaning was a stressful handling experience as evidenced by the increase in neutrophils and the decrease in lymphocytes compared with basal conditions. Hickey *et al.* (2003) reported a similar response to weaning in 7-month old calves. These changes in leukocyte population are associated with acute stress (Duncan and Prasse, 1986; Fell *et al.*, 1999) and may increase susceptibility to disease and reflect a reduced capacity of calves to cope with stressors of the feedlot environment. However, no differences were found due to age at weaning, confirming the results reported by Smith *et al.* (2003) and Bueno *et al.* (2003). On the contrary, age at weaning affected cellular mediated immune responses in calves weaned at 5, 9 and 13 week (Pollock *et al.*, 1993). For these authors, early weaning effects are essentially nutritional.

All leukocyte parameters returned to basal concentrations by 168 h after weaning. When calves were not habituated to handling, reacting to the collection and sampling procedure, a longer period was needed to return to baseline concentrations (Church and Hudson, 1999).

As a result of the decrease in the lymphocyte proportion and increase the neutrophil proportion until 48 h after weaning, N:L ratio had a maximum at this moment, as did fibrinogen concentrations. The N:L ratio returned to baseline values 168 h after weaning. The glucocorticoids may be the contributing factor to the alteration of the N:L ratio (Hickey *et al.*, 2003). On the other hand, in the current study N:L ratio did not differ with age at weaning, as in the study of Smith *et al.* (2003), who stated that there was no immunosuppression or increased predisposition to illness associated with age at weaning.

Specifically, EW calves had an increase in total WBC numbers and N:L ratio 48 h after weaning, showing similar values than those described by Fisher *et al.* (1997) in 5-month old bull calves following surgical castration. This increase in WBC numbers was largely due to increased numbers of neutrophils, which is the result of their decreased adhesion to the epithelial cells of the blood vessels, and increases neutrophil circulation as a guard against an infection.

Concerning the breed effect, PM and Pi calves had similar leukocyte population. García-Belenguer *et al.* (1996) also reported no breed differences in calves whereas Pi cows presented greater basal WBC counts than PM cows.

4.4. Erythrocyte population

The characteristic erythrocytosis of an acute stress response was not observed. In fact, EW calves always presented the lowest mean values for Hb and HCT and they were anaemic, as suggested by the Hb values, below the threshold of 8 to 10.5 g/dl (Payne and Payne, 1987). A transient dietary iron deficiency that can lead to a mild anaemia occurs primarily in the rapidly growing young of many species (Duncan and Prasse, 1986), and it is usually associated to milk diets. In fact, daily protein requirements calculated according to their weight and ADG at weaning were 348 and 374 g digestible protein in the intestine for EW and TW calves, respectively (INRA, 1981). The estimated protein intake was 60 to 72% of their requirements, considering their Energy Corrected Milk (ECM) intake (8.0 and 6.7 kg/d at weaning for EW and TW calves, respectively) (M. Blanco, unpublished data) and the milk protein digestibility (97%) (INRA, 1981). Actually, due to changes in protein intake or availability, a pronounced seasonal effect occurs with Hb and HCT usually decreasing in winter (Payne and Payne, 1986). In this sense, spring-born PM calves had an ECM intake of 10.8 kg/d (Sanz *et al.*, 2003), meeting the protein requirements and Hb would be expected to be greater than the values obtained in the current experiment. However, no clinical sign of anaemia was observed during the suckling or the feedlot period.

Baseline values of the erythrocyte population were similar between both breeds, as García-Belenguer *et al.* (1996) had reported in spring-born calves of these breeds. But Hb baselines values in the current experiment, irrespectively of the breed, were lower than the values reported by these authors.

4.5. Flight speed test

Flight speed test was used to examine the effect of age at weaning on the fear response of the calf to being handled by humans, because this method is objective, safe, quick and very simple to perform in on-farm conditions (Burrow, 1997; Müller and von Keyserlingk, 2006). Fear reaction to humans could be affected by age at weaning, so that calves isolated earlier from the dam might develop a better socialization to humans. However, speed values tested both at 90 and 180 d postweaning were unaffected by age at weaning, which highlights the importance of a good handling in the periods before and around weaning on later temperament.

Concerning the breed effect, Pi calves had greater speed values both at 90 at 180 d postweaning than PM calves, which agreed well with previous studies (García-Belenguer *et al.*, 1996; Palacio, 2000) in the same breeds. These authors reported that Pi breed was

more excitable and had a greater difficulty to adapt to repeated non-painful handling procedures than PM breed. However, both PM and PI breeds would be classified as calm breeds when compared to values obtained by Fell *et al.* (1999), who classified calves according to their flight speed values as nervous (1.9 to 2.8 m/s) or calm calves (0.6 to 1.4 m/s).

Studies on temperament of cattle indicate that lower growth rates are associated with greater reactivity of calves during handling, as indicated by faster flight times (Burrow and Dillon, 1997; Müller and von Keyserlingk, 2006). Our work did not show any correlation between flight speed values and ADG in the feedlot phase, which could be related to the lower flight speed values of our calves, compared to those reported by the aforementioned authors.

4.6. Feedlot performance

The feedlot phase was also studied because calf management at weaning may have an impact on weight gain and health for several months after weaning (SCAHAW, 2001). Expectedly, the younger calves were lighter than the older ones at weaning, but during the feedlot period, they had similar ADG. Similarly, Myers *et al.* (1999c) reported that weaning calves either at 90 or 152 d had had little or no influence on weight gains during the feedlot period. Therefore, early weaning increased the days on feed to attain a target weight, with a concomitant increase in feed costs and yardage expenses (Casasús *et al.*, 2006).

According to breed, PM calves tended to be heavier than Pi calves at weaning. PM calves have been reported to be heavier than Pi calves at 90 d (Sanz *et al.*, 2003) and at 150 d (Villalba *et al.*, 2000), which was attributed to the greater milk yield of PM dams when compared with their Pi counterparts. During the feedlot period, breed had no influence on weight gains, as Albertí *et al.* (1997) reported in bull calves intensively fed to 460 kg.

In conclusion, the results suggest that weaning restricted-suckled beef calves at 90 or 150 d following the same procedures and avoiding accumulative stressing factors arouse similar physiological and immune response, performance in the feedlot and fear reactions to humans. Alterations in blood values were minimal and the most of the variables had recovered basal values 1 week after weaning. Weaning performed in this work can be considered as abrupt, as it included maternal separation and social group disruption. However, restricted suckling could be similar to the 2-stage weaning methods, which involve a period where nursing is prevented before the complete separation of dam and calf, and have been explored as a means to reduce stress concentrations in calves at weaning. A restricted suckling system could contribute to a gradual separation from the dam that is more similar to natural weaning conditions.

Consideraciones Finales

En la presente tesis se ha analizado el efecto del manejo del ternero (edad al destete y suplementación durante la lactación) y su raza (Parda de Montaña y Pirenaica) sobre los rendimientos técnicos y económicos de importancia en los sistemas extensivos de producción de vacuno de carne. Dichos factores se han valorado por separado en las dos épocas de nacimiento más frecuentes la zona de estudio (primavera y otoño), ya que el manejo general del rebaño, y por tanto de los terneros, difiere en función de la época en que se producen los partos, al estar el sistema notablemente ligado a la disponibilidad de recursos forrajeros a lo largo del año (Casasús *et al.*, 2002). De hecho, en este trabajo se han observado importantes diferencias en las consecuencias que el manejo de los animales ha tenido sobre sus rendimientos técnicos y económicos en función de su época de nacimiento.

El estudio de las repercusiones de las diversas alternativas de manejo se ha centrado en los terneros a lo largo de su ciclo productivo, desde el nacimiento al sacrificio. Sin embargo, en la toma de decisiones en la explotación de vacuno es fundamental conocer también su efecto sobre los rendimientos del rebaño de madres, por la gran incidencia que tienen en los costes de producción de los terneros y en la sostenibilidad del sistema a largo plazo. Se debe también tener en cuenta que todavía existe una proporción importante de explotaciones que no cierran el ciclo productivo de los terneros, sino que los venden en el momento del destete (García-Martínez *et al.*, 2006), por lo que las consecuencias económicas para estas explotaciones podrían matizarse con respecto a lo presentado en los capítulos anteriores.

En la **época de nacimiento de primavera**, en la que se evaluó el efecto del destete precoz en terneros de raza Parda de Montaña, las pautas de crecimiento y desarrollo de los terneros fueron diferentes en función de su edad al destete, aunque a la edad de un año tuvieron un peso similar. En el periodo entre destetes, el ritmo de ganancia de los terneros destetados precozmente duplicó al observado en los que permanecían en pastoreo junto a sus madres, por lo que en el momento del destete tradicional (d 180), la diferencia de peso entre ambos grupos de terneros fue de 90 kg. En este ensayo se observó un crecimiento compensador de los terneros destetados tradicionalmente al iniciar la fase de finalización, que llevó a una compensación completa de la diferencia de peso en el momento del sacrificio, sin observarse diferencias notables en la calidad de la canal ni de la carne. Esta modificación de las pautas de crecimiento ligada al manejo se vio también reflejada en una diferente evolución de la concentración plasmática de IGF-I (Blanco *et al.*, 2005c) y leptina (no publicado) a lo largo del ciclo productivo. Puesto que estas hormonas se encuentran implicadas en la deposición relativa de tejido magro y graso, habría sido interesante realizar sacrificios seriados de los animales durante la fase de cebo, con el objeto de estudiar las modificaciones que tuvieron lugar a nivel tisular y cómo dieron lugar al crecimiento compensador observado, si bien esto no fue factible en este ensayo por el limitado número de animales.

En lo que respecta al rendimiento económico derivado del cebo de los terneros nacidos en primavera, hay que destacar que los terneros destetados precozmente presentaron mayores costes de alimentación que los terneros destetados de manera tradicional (Blanco *et al.*, 2005b). Esto se debió a que los primeros presentaron un consumo de pienso muy superior, por la mayor duración de su periodo de cebo intensivo. Esta diferencia se produjo en el periodo entre destetes, ya que mientras que los terneros destetados tradicionalmente pastaron en puerto con sus madres, los destetados precozmente y alimentados de forma intensiva presentaron un consumo de concentrado en este periodo de 684 kg. Durante la fase de finalización, sin embargo, ambos grupos de terneros tuvieron un consumo similar.

En este trabajo no se han valorado los costes de alimentación de los terneros destetados tradicionalmente durante el periodo de pastoreo en puerto con las madres. En general, en los puertos del Pirineo se establece una tasa por vaca o se paga una cantidad fija por el uso del puerto, en algunos casos con una limitación del número total de cabezas de ganado que pueden hacer uso de la superficie disponible. Por ello, puede asumirse que el coste derivado del pastoreo de verano en los puertos para los terneros es muy reducido o nulo, y esta diferencia en los costes incurridos en esta fase supone que el destete tradicional resulte más beneficioso económicamente en la paridera de primavera.

Sin embargo, aunque se asuma que el coste directo de la alimentación del ternero en puerto es nulo, el alargamiento de la lactación de la vaca durante su estancia en puerto puede conllevar unos costes indirectos. Debido a las características de la zona, la recuperación de peso y condición corporal de las vacas durante el pastoreo de verano es limitada en las condiciones descritas, y con frecuencia inferior a la encontrada en otras áreas de Europa de producción extensiva de vacuno de carne. A título indicativo, en un estudio de los rendimientos de los rebaños en pastoreo en estas condiciones, las vacas multíparas con parto en primavera presentaron una recuperación media de 28 kg durante el pastoreo de verano, aunque con una gran variabilidad interanual (Casasús *et al.*, 2002). En el ensayo realizado en esta tesis, a pesar de que los lotes de vacas no presentaron diferencias en el parto en peso y condición corporal (CC), durante el pastoreo de verano las vacas cuyos terneros se destetaron precozmente mantuvieron peso y recuperaron CC, mientras que las que todavía estaban lactantes perdieron peso y CC. Al final de la estación de pastoreo (diciembre), el peso de las vacas cuyos terneros se destetaron precozmente (545 kg) era superior al de las vacas cuyos terneros se destetaron tradicionalmente (512 kg) (Blanco *et al.*, 2005b), aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas. Sin embargo, podrían ser importantes desde el punto de vista reproductivo y económico. En un estudio de los factores que influyen en la duración del anestro postparto en condiciones extensivas de producción, Sanz *et al.* (2004) describieron que el nivel alimenticio previo al parto es un factor determinante en la reactivación ovárica postparto, y si éste resulta en una CC o peso insuficientes al parto puede perjudicar los rendimientos reproductivos en el siguiente ciclo. Por lo tanto, desde

el final del pastoreo hasta el parto podría ser necesario proporcionar más alimento a las vacas cuyos terneros fueron destetados tradicionalmente, para garantizar una CC y peso adecuados, que a aquéllas cuyos terneros se destetaron precozmente, y consecuentemente se incrementarían sus costes de alimentación en mayor medida.

Finalmente, hay que tener en consideración que los resultados presentados en este ensayo se han obtenido en un año, y existe en este sistema una variabilidad interanual importante en los rendimientos de los terneros todavía lactantes y de sus madres durante el pastoreo, ligada a los efectos del clima sobre la disponibilidad y calidad de los recursos pastables (Villalba *et al.*, 2000; Casasús *et al.*, 2002). En estas condiciones de montaña la duración del pastoreo es fija, ya que coincide con la subida y bajada de puerto, y la posterior alimentación es a base de concentrado a voluntad. Por lo tanto, únicamente es variable el grado de restricción sufrido por los terneros durante el pastoreo, que condicionará la aparición del crecimiento compensador en la posterior fase de cebo intensivo, y que puede depender del efecto aleatorio anual. Sin embargo, la variabilidad anual en los rendimientos de los terneros es inferior que la de las vacas, debido a que éstas movilizan reservas para garantizar su producción de leche y "amortiguar" el efecto anual sobre los rendimientos de sus terneros (Casasús, 1998). De hecho, las ganancias de los terneros lactantes en puerto en este ensayo se encontraron en el rango de las observadas por Villalba *et al.* (2000) y Casasús *et al.* (2002) en sendos estudios plurianuales en los mismos puertos, por lo que cabría esperar que los resultados obtenidos en este ensayo fueran consistentes independientemente del año.

Para reducir el grado de restricción sufrido por los terneros durante el pastoreo se podría aportar suplemento y de esta manera incrementar sus ganancias de peso (Corah y Bishop, 1975; Faulkner *et al.*, 1994). Sin embargo, las condiciones de pastoreo de puertos de montaña de la zona de trabajo hacen inviable esta posibilidad.

En definitiva, en las condiciones en que se ha realizado este trabajo no parece recomendable en los nacimientos de primavera realizar el destete precoz en vacas multíparas. Sin embargo, tal vez interesara realizarlo en vacas con necesidades más elevadas como las novillas en su primer parto (McCall *et al.*, 1988; Casasús *et al.*, 2002), o en vacas con un bajo estado de reservas corporales en el momento de la salida al pasto. En caso de tener que realizarse en alguno de estos tipos de animales, y teniendo en cuenta los elevados costes de la alimentación intensiva del ternero, se podrían considerar otras estrategias de alimentación para reducir dichos costes. Así, una vez destetados los terneros podrían pastar en praderas con suplementación (Pordomingo, 2002) o ser alimentados con dietas forrajeras en pesebre y luego ser finalizados a pienso, estrategias que en otras condiciones están demostrando una mejora en la eficiencia de transformación de alimentos en comparación con el cebo intensivo desde el destete (Myers *et al.*, 1999b; Schoonmaker *et al.*, 2004). En este sentido, en el entorno productivo en el que se ha realizado este trabajo, se valoró la viabilidad técnica de cebar terneros en praderas de alfalfa, muy abundantes en Aragón, con una suplementación limitada de

pienso. En dicho ensayo, la ganancia de peso de los terneros entre el destete a los 5 meses y el sacrificio al alcanzar los 450 kg se redujo sólo un 10% en comparación a la de terneros alimentados con pienso y paja a voluntad, pero el coste de alimentación por kilo de peso vendido fue 60% inferior (Blanco *et al.*, 2005a), por lo que resultó una alternativa económicamente muy interesante.

En la **época de nacimiento de otoño** se realizaron dos ensayos para evaluar el efecto que sobre los rendimientos técnico-económicos de los terneros pudieran tener la *edad al destete y la suplementación durante la lactación*, en el primer ensayo, y el efecto de la *raza y la edad al destete*, en el segundo. En el primero de estos ensayos, en el periodo entre destetes (90-150 d), la interacción entre el momento de destete y la suplementación en lactación afectó a los rendimientos en esta fase. Esto evidenció que ambos efectos no pueden contemplarse por separado en la paridera de otoño, ya que, al contrario de lo que ocurre en primavera cuando los terneros pastan en puerto con sus madres, en otoño sí es factible suplementar al ternero durante la fase final de la lactación. En otros trabajos se ha demostrado también que esta suplementación permite mejorar la ganancia de los terneros junto a la madre (Casasús *et al.*, 2001a) y resulta muy eficiente en términos biológicos (Casasús *et al.*, 2001b) y económicos (Bernués *et al.*, 2001).

Así, la suplementación no tuvo efectos en el periodo entre destetes sobre los rendimientos de los terneros destetados precozmente, pero sí sobre los de los terneros destetados tradicionalmente. Los terneros destetados precozmente que recibieron suplementación en lactación únicamente ingirieron pienso de manera reseñable a partir del tercer mes de vida, por lo que la duración de la suplementación no fue suficiente para provocar efectos importantes en los rendimientos en la lactación ni en la siguiente fase productiva. Por el contrario, la suplementación durante la lactación en los terneros destetados tradicionalmente tuvo un efecto importante en los rendimientos antes del destete. La producción lechera de las madres en esta fase no es suficiente por sí sola para mantener un adecuado crecimiento de los terneros, tal y como ya se había puesto en evidencia anteriormente en esta raza (Casasús *et al.*, 2001). Con una ingestión media de concentrado de 1,5 kg/d, la ganancia de peso de los terneros destetados tradicionalmente se duplicó con respecto a los que no recibieron suplementación. Sin embargo, a pesar de la restricción sufrida por los terneros destetados tradicionalmente que no recibieron suplementación en lactación, los rendimientos desde el momento del destete tradicional hasta el sacrificio fueron similares entre lotes. La suplementación durante la lactación tuvo otros efectos positivos en los terneros destetados tradicionalmente, p.e. redujo la duración y el consumo de pienso en cebo al iniciarse esta fase con un mayor peso y mejoró la conformación de las canales mientras que en los terneros destetados precozmente no afectó a ninguno de estos parámetros.

En el Ensayo 3, en el que se analizaban los efectos de la raza y el momento del destete en terneros que no habían recibido suplementación en lactación, en el periodo entre destetes (90-150 d) no se observó ninguna interacción entre la raza y el momento

del destete, por lo que, al igual que en los terneros nacidos en primavera, el destete precoz e inicio de la fase de cebo intensivo permitió una mejora importante de los crecimientos en esta fase. No aparecieron diferencias durante la finalización entre los destetados precoz o tradicionalmente, por lo que tampoco se observó el crecimiento compensador descrito en el Ensayo 1 realizado en primavera.

De los factores anteriormente descritos que influyen en la aparición del crecimiento compensador, tanto la duración como el grado de la restricción difirieron entre los ensayos realizados en otoño y primavera. En primavera el periodo de restricción de los terneros destetados tradicionalmente se prolongó durante 3 meses (pastoreo en puerto); la magnitud de la ganancia fue la mitad de la de los destetados precozmente, y la diferencia de peso al final de este periodo fue de 90 kg. Por el contrario, en otoño este periodo duró sólo dos meses, la diferencia entre ganancias en el Ensayo 3 fue menor, y sólo se generó una diferencia en el peso a los 150 días de 22 kg entre los terneros de ambos lotes. Sin embargo, en el Ensayo 2, la diferencia de peso a los 150 días fue de 69 kg entre terneros destetados tradicionalmente con y sin suplementación en lactación. Aunque sí hubo alguna diferencia entre lotes en las ganancias en los primeros meses de la finalización, éstas no se prolongaron más allá de los 2-3 primeros meses. Parece por tanto, que ni la duración ni el grado de restricción aplicados fueron bastantes para generar un crecimiento compensador suficiente en los terneros que permanecieron más tiempo junto a sus madres, al contrario de lo ocurrido en el ensayo realizado en primavera.

Por lo tanto, los resultados obtenidos en las condiciones de los ensayos de esta tesis muestran que en terneros restringidos a la misma edad pero con una duración e intensidad de la restricción diferente, la respuesta a la restricción es variable. Esta variabilidad en la aparición de crecimiento compensador ya ha sido puesta de manifiesto en una revisión realizada por Ryan (1990).

A pesar de que los rendimientos globales en la finalización fueron independientes de la raza estudiada, aparecieron diferencias mensuales que deberían ser comentadas. El primer mes en cebo intensivo, los terneros de raza Parda de Montaña tuvieron una ganancia de peso de 1,52 kg/d mientras que la de los terneros de raza Pirenaica fue de 1,23 kg/d. Esta diferencia puede mostrar una menor adaptabilidad de la raza Pirenaica, que tiene mayor respuesta fisiológica frente a un cambio de situación, tal y como se ha puesto en evidencia en su mayor respuesta al estrés provocado por el destete. Los tres siguientes meses en cebo, los terneros de raza Parda de Montaña tuvieron una ganancia de peso media de 1,73 kg/d, reduciéndose a 1,41 kg/d los dos últimos meses del cebo. Sin embargo, los terneros de raza Pirenaica mostraron una ganancia de peso de 1,78 kg/d los últimos tres meses en cebo. Estas diferentes ganancias de peso concuerdan con los datos obtenidos por Piedrafita *et al.* (2003), los cuales clasifican según su madurez a la raza Parda de Montaña como intermedia y a la raza Pirenaica como tardía. Por lo tanto,

podría llevarse a la raza Pirenaica a pesos de sacrificio mayores sin repercusiones negativas en su crecimiento.

En lo que respecta al estudio de la deposición de tejido magro y graso, a través de la concentración plasmática de IGF-I y leptina, los resultados obtenidos en los ensayos aquí descritos no fueron concluyentes, especialmente para la leptina por el bajo estado de engrasamiento de las dos razas analizadas. En el caso de la concentración de IGF-I, ésta se ha correlacionado con la ganancia de peso a corto pero no a largo plazo, por lo que no tiene un valor predictivo del “potencial” del animal. Sin embargo, es interesante que la concentración de IGF-I y la eficiencia en el cebo posterior estén relacionadas. Se podría completar el estudio de esta hormona con un estudio genético, identificando los polimorfismos existentes en el gen de IGF-I y su relación con la eficiencia en cebo, tal y como ya se está realizando con terneros de otras razas, p. e. Angus (Moore *et al.*, 2005) para confirmar su uso potencial como indicador de eficiencia en la transformación de alimento y por tanto intentar reducir los costes de alimentación. Por otro lado, el uso de la leptina como indicador del estado engrasamiento parece complicado debido a la existencia de mecanismos de regulación de su secreción de tipo feedback. Cuando un animal se está engrasando se incrementa la leptina circulante, que para prevenir excesos en la adiposidad reduce el apetito. Por lo tanto, habría que estudiar de manera precisa el nivel de engrasamiento o concentración de leptina circulante a partir de los cuales se activan estos mecanismos para poder extraer conclusiones sobre su uso como indicador del contenido en grasa intramuscular, con un análisis más detallado de su evolución y tal vez incrementando el peso al sacrificio de los terneros y en consecuencia su nivel de engrasamiento.

En la paridera de otoño, y también al contrario de lo ocurrido en primavera, el momento del destete modificó el manejo de las vacas en el periodo entre destetes: en las vacas cuyos terneros se destetaron precozmente se adelantó la salida al pasto, mientras que las vacas lactantes se mantuvieron en establo hasta la fecha de destete tradicional. En este periodo entre destetes las vacas aprovecharon pastos forestales, que se caracterizan por su limitada disponibilidad de forraje de calidad (Casasús *et al.*, 2002), particularmente si, como en este caso, el aprovechamiento se realiza antes de iniciarse el periodo de crecimiento vegetativo. Por ello fue necesario suplementar a las vacas en la época de mayor rigor meteorológico, de modo que recibieron durante el primer mes de pastoreo una cantidad limitada del mismo alimento que recibían las vacas lactantes en estabulación (cf. Casasús *et al.*, 2007 b). Con respecto a la repercusión de este adelanto sobre los rendimientos de las vacas, aunque se observaron diferencias en el periodo entre destetes, ya que las vacas secas en pastoreo perdían peso mientras las lactantes lo mantenían en establo, éstas no afectaron a su peso ni a su CC al final del ciclo productivo (Blanco *et al.*, 2006; Casasús *et al.*, 2007b). La reactivación ovárica media de las vacas tuvo lugar antes de que se realizase el destete precoz, por lo que tampoco se vio afectada por esta práctica (51 y 55 días, para las vacas cuyos terneros se destetaron precoz y tradicionalmente, respectivamente; Casasús *et al.*, 2007b). Este dato sería

esperable en vacas con un estado corporal adecuado en el momento del parto y que no habían sufrido una restricción alimenticia importante en lactación (Sanz *et al.*, 2004), por lo que en estas condiciones el destete precoz a 90 días es demasiado tardío para tener repercusiones sobre los rendimientos reproductivos de las madres. Sin embargo, los datos de reactivación ovárica de estos ensayos se refieren a vacas con acceso restringido del ternero y sin embargo existen explotaciones en las que los terneros tienen acceso libre a sus madres. Sanz *et al.* (2004) encontraron que el anestro postparto de las vacas de raza Parda de Montaña en estas condiciones es superior a 90 días y por lo tanto en estos casos resultaría interesante evaluar si el destete precoz adelantaría su aparición.

Tampoco aparecieron efectos de la suplementación del ternero sobre los parámetros productivos y reproductivos de las vacas, tal y como ya encontraron Casasús *et al.* (2001a) en la raza Parda de Montaña. Además, las vacas de ambas razas se comportaron de manera similar, tanto en peso, CC como reactivación ovárica (Casasús *et al.*, 2007b), siendo los resultados similares a los obtenidos en otros trabajos realizados con las mismas razas (Casasús *et al.*, 2002; Sanz *et al.*, 2004).

Cuando se evalúan los rendimientos económicos de las explotaciones de cría, que venden los terneros tras el destete, aparecen diferencias con el tipo de destete, obteniendo un mayor margen económico con el destete precoz, debido al ahorro que supone en la alimentación de la vaca la salida al pasto dos meses antes (Casasús *et al.*, 2007c). Por lo tanto, al no tener el destete precoz repercusiones negativas ni sobre el ternero ni sobre la vaca, en el momento en que el ternero es capaz de ingerir una cantidad mínima diaria de alimentos sólidos que garantice una adecuada transición al cebadero, resulta más rentable destetar y vender el ternero que mantener la lactación para incrementar su peso, con un coste poco eficiente. Además, esta práctica permite la extensificación en el manejo de las vacas, al adelantar la salida de las vacas al pasto, siendo una herramienta muy interesante para la gestión medioambiental de zonas de pastos forestales (Casasús *et al.*, 2007b).

Otro aspecto de especial relevancia en las actuales condiciones en la Unión Europea es el bienestar de los terneros. El destete precoz, a pesar de adelantar la separación de la vaca y el ternero y exponerlo antes a un cambio brusco de alimentación, no incrementa el estrés sufrido por el ternero en torno al destete ni afecta a su posterior reactividad frente a humanos. Sin embargo, hay que considerar que estos datos se han obtenido en terneros con acceso restringido a sus madres. Este manejo reduce el estrés al compararlo con respuestas obtenidas en terneros con acceso libre a sus madres (Phillips *et al.*, 1989), o con aquéllos criados en condiciones totalmente extensivas y con escaso contacto con los cuidadores. Por lo tanto, en explotaciones que no siguen un manejo como el descrito en esta tesis, sería interesante realizar prácticas encaminadas a habituar al ternero a la presencia humana, tales como alimentar al ternero manualmente e intentar tocarle, en momentos puntuales p. e. al destete (Boivin *et al.*, 1992). Con estas prácticas

se pueden reducir las sensaciones negativas, que afectan a la productividad, causadas por el manejo en el cebo (Boissy *et al.*, 2005). Estas prácticas puntuales serían especialmente recomendables en terneros de raza Pirenaica, por presentar mayor reactividad frente al estrés producido por el destete y la presencia de humanos.

Finalmente, hay que considerar que las condiciones productivas del sector de vacuno de carne, particularmente en el momento actual, presentan un cierto grado de incertidumbre. De hecho, es previsible que se produzcan modificaciones en los censos del ganado vacuno y en el mercado derivados del desacoplamiento de las ayudas contempladas con la Política Agraria Común (Informe de la Comisión Europea “Prospects for Agricultural Markets and Income 2005-2013”). Otro factor que puede distorsionar el mercado es el precio de los piensos, al modificarse la orientación de una parte de los cultivos hacia la producción destinada a la obtención de biocombustibles. De hecho, el precio de la tonelada de los cereales comúnmente utilizados en la formulación de piensos se ha incrementado notablemente en este último año. Por lo tanto, puede que no resulte tan ventajoso económicamente el destete precoz de los terneros, si el ahorro en la alimentación de la vaca se ve ampliamente superado por el mayor coste de alimentación del ternero en cebadero, y resulte más interesante el destete tradicional, que conlleva un menor consumo de pienso en cebo por parte de estos terneros. Estas circunstancias requerirán un nuevo análisis, para el que será necesario disponer de datos técnicos reales sobre la repercusión del manejo sobre los rendimientos de los animales durante todo el ciclo productivo. Dichos datos serán básicos para implementar sistemas de apoyo a la toma de decisión que permitan diseñar las estrategias más adecuadas ante un cambio en la coyuntura productiva. En este sentido, los resultados obtenidos en esta tesis permiten tener los conocimientos técnicos sobre las repercusiones del destete precoz en los rendimientos de los terneros de raza Parda de Montaña y Pirenaica nacidos en primavera y otoño en zonas de montaña, y proporcionar alternativas para adaptar el manejo de las explotaciones a las diferentes situaciones en función de los precios de los insumos y los precios de venta de los terneros.

Conclusiones

En las condiciones de la realización de los cuatro ensayos presentadas en esta tesis, se pueden extraer las siguientes conclusiones generales sobre los efectos de la edad al destete, la suplementación durante la lactación y la raza:

1. En el periodo entre fechas de destete, el destete precoz e inicio del cebo intensivo incrementó las ganancias de peso con respecto a los terneros destetados tradicionalmente, independientemente de la época de nacimiento, si los terneros no disponían de suplementación de pienso durante la lactación. Por el contrario, cuando los terneros recibían pienso durante la lactación, el crecimiento de los terneros que permanecieron más tiempo junto a sus madres fue mayor en esta fase que el de los destetados precozmente. Los terneros de raza Parda de Montaña fueron más pesados que los de raza Pirenaica a lo largo de todo este periodo.
2. Durante la finalización (desde el destete tradicional al sacrificio), los terneros nacidos en primavera y destetados tradicionalmente mostraron crecimiento compensador, con similar ingestión y mayor eficiencia que los destetados precozmente. Por el contrario, en los terneros nacidos en otoño, las ganancias, ingestión y eficiencia globales no se vieron influidas por el manejo en las fases previas, ni por la raza. La suplementación durante la lactación en los terneros destetados tradicionalmente acortó la duración de la finalización, al presentar los animales un mayor peso al inicio de dicha fase.
3. La concentración de IGF-I respondió a la disponibilidad de nutrientes, y la concentración de IGF-I previa al cebo se correlacionó con la posterior eficiencia de conversión de los alimentos en cebo, por lo que podría usarse como indicador de la misma.
4. La concentración de leptina no difirió ni con la edad al destete ni con la raza, por el similar estado de engrasamiento de éstas. Sin embargo, al sacrificio los terneros suplementados en lactación presentaron mayor concentración de leptina. El uso de la leptina como indicador del grado de engrasamiento de la canal o la carne no parece adecuado en terneros de estas dos razas sacrificados con 450 kg, al no obtenerse resultados consistentes por su bajo engrasamiento.
5. El destete precoz mejoró el rendimiento canal sin afectar de manera concluyente a otras características de la canal. Por otro lado, la suplementación durante la lactación mejoró la conformación de los terneros destetados tradicionalmente, igualándola a la de los terneros destetados precozmente. Las canales de los terneros de raza Pirenaica tuvieron mayor rendimiento y conformación que los de raza Parda de Montaña.
6. La calidad de la carne no se vio afectada de manera reseñable ni por la edad al destete ni por la suplementación durante la lactación, por el largo periodo de finalización al que se sometió a los terneros. En cambio, el color y la textura de la carne presentaron pequeñas diferencias raciales, consistentes con resultados previos en estudios realizados con ambas razas.

Conclusiones

7. Al analizar los efectos de la edad al destete y la raza sobre el estrés en torno al destete y la posterior reactividad frente a la presencia de humanos durante el cebo, se pudo comprobar que la edad al destete no tuvo efectos en ninguno de los parámetros evaluados. Sin embargo, los terneros de raza Pirenaica presentaron una mayor reactividad frente a los estímulos, como se había comprobado en otros trabajos.

8. Desde el punto de vista económico, el destete tradicional resultó más rentable en los terneros nacidos en primavera, al reducir los costes de alimentación de los terneros. En el caso de los terneros nacidos en otoño, y en función de la interacción entre el momento del destete y la suplementación, las distintas combinaciones ofrecieron márgenes similares, salvo el destete tradicional sin suplementación en lactación, que resultó el manejo menos rentable. Al finalizar el ciclo productivo se obtuvo un margen superior con la raza Pirenaica, por los mayores ingresos obtenidos a la venta, independientemente de la edad al destete.

Bibliografía

- A.O.A.C.** 1995. Official methods of analysis. 16th ed. AOAC, Arlington (EE.UU.).
- Albertí, P., Sañudo, C., Campo, M.M., Franco, J., Lahoz, F., Olleta, J.L.** 1997. Características productivas de terneros de siete razas bovinas españolas. *Información Técnica Económica Agraria* 18: 745-747.
- Albertí, P., Lahoz, F., Sañudo, C., Olleta, J.L.** 1999. Producción y rendimiento de distintas razas bovinas españolas. *Informaciones Técnicas*. Dirección General de Tecnología Agraria. Gobierno de Aragón. 68: 1-8.
- Albertí, P., Panea, B., Ripoll, G., Sañudo, C., Olleta, J.L., Negueruela, I., Campo, M.M., Serra, X.** 2005. Medición del color. En: MCyT, I. (ed.) Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Monografías INIA:serie ganadera No. 3. P 448, Madrid.
- Allingham, P.G., Harper, G.S., Hunter, R.A.** 1998. Effect of growth path on the tenderness of the semitendinosus muscle of Brahman-cross steers. *Meat Science* 48: 65-73.
- Allingham, P.G., Harper, G.S., Hennessy, D.W., Oddy, V.H.** 2001. The influence of pre-weaning nutrition on biochemical and myofibre characteristics in bovine semitendinosus muscle. *Australian Journal of Agricultural Research* 52: 891-902.
- Anderson, P.T., Bergen, W.G., Merkel, R.A., Enright, W.J., Zinn, S.A., Refsal, K.R., Hawkins, D.R.** 1988. The relationship between composition of gain and circulating hormones in growing beef bulls fed three dietary crude protein levels. *Journal of Animal Science* 66: 3059-3067.
- AOCS.** 2004. Official Method Am 5-04 Oil. Rapid Determination of Oil/Fat Utilizing High Temperature Solvent Extraction. Additions and Revisions to the Official Methods and Recommended Practices of the AOCS, Champaign (EE.UU.).
- Arthington, J.D., Kalmbacher, R.S.** 2003. Effect of early weaning on the performance of three-year-old, first-calf beef heifers and calves reared in the subtropics. *Journal of Animal Science* 81: 1136-1141.
- Arthington, J.D., Eicher, S.D., Kunkle, W.E., Martin, F.G.** 2003. Effect of transportation and commingling on the acute-phase protein response, growth, and feed intake of newly weaned beef calves. *Journal of Animal Science* 81: 1120-1125.
- Arthington, J.D., Spears, J.W., Miller, D.C.** 2005. The effect of early weaning on feedlot performance and measures of stress in beef calves. *Journal of Animal Science* 83: 933-939.
- Bagley, C.P.** 1993. Nutritional management of replacement beef heifers: a review. *Journal of Animal Science* 71: 3155-3163.
- Bailey, D.R.C., Gilbert, R.P., Beauchemin, K.A., Petitclerk, D.** 1991. Effects of creep feeding and breed composition on growth of heifer calves and milk production of their dams. *Canadian Journal of Animal Science* 71: 621-627.
- Baker, R.D., Gibb, M.J.** 1995. The performance and changes in body composition of steers offered cut grass or grazing following three patterns of nutrition in winter. *Animal Science* 60: 419-427.
- Baldock, D., Beaufoy, G., Brouwer, F., Godeschalk, F.** 1996. Farming at the margins: abandonment or redeployment of agricultural land in Europe, Institute for European Environmental Policy Agricultural Economics Research Institute, London/The Hague.

- Barash, H., Aharoni, Y., Brosh, A., Holzer, Z.** 1998. Effects of low energy diets followed by a compensatory diet on body weight gain and plasma hormone concentrations in bull calves. *Journal of Dairy Science* 81: 250-254.
- Barker-Neef, J.M., Buskirk, D.D., Blackt, J.R., Doumit, M.E., Rust, S.R.** 2001. Biological and economic performance of early-weaned Angus steers. *Journal of Animal Science* 79: 2762-2769.
- Bartle, S.J., Males, J.R., Preston, R.L.** 1984. Effect of energy intake on the postpartum interval in beef cows and the adequacy of the cow's milk production for calf growth. *Journal of Animal Science* 58: 1068-1074.
- Basarab, J.A., Novak, F.S., Karren, D.B.** 1986. Effects of early weaning on calf gain and cow performance and influence of breed, age of dam and sex of calf. *Canadian Journal of Animal Science* 66: 349-360.
- Bell, D.J., Spitzer, J.C., Burns, G.L.** 1998. Comparative effects of early weaning or once-daily suckling on occurrence of postpartum estrus in primiparous beef cows. *Theriogenology* 50: 707-715.
- Bellmann, O., Wegner, J., Rehfeldt, C., Teuscher, F., Schneider, F., Voigt, J., Derno, M., Sauerwein, H., Weingärtner, J., Ender, K.** 2004. Beef versus dairy cattle: a comparison of metabolically relevant hormones, enzymes and metabolites. *Livestock Production Science* 89: 41-54.
- Bellows, R.A., Short, R.E., Urick, J.J., Pahnish, O.F.** 1974. Effects of early weaning on postpartum reproduction of the dam and growth of calves born as multiples or singles. *Journal of Animal Science* 39: 589-600.
- Berge, P.** 1991. Long-term effects of feeding during calthood on subsequent performance in beef cattle (a review). *Livestock Production Science* 28: 179-201.
- Bernués, A., Casasús, I., Sanz, A., Manrique, E., Revilla, R.** 2001. Evaluación económica de diferentes estrategias de alimentación de la vaca y el ternero durante las fases de lactación y cebo en ganado vacuno de carne en sistemas extensivos de montaña. *ITEA Producción Animal* 97A: 117-130.
- Bernués, A., Riedel, J.L., Asensio, M.A., Blanco, M., Sanz, A., Revilla, R., Casasús, I.** 2005. An integrated approach to study the role of grazing farming systems in the conservation of rangelands in a protected natural park (Sierra de Guara, Spain). *Livestock Production Science* 96: 75-85.
- Blanc, F., Bocquier, F., Agabriel, J., D' Hour, P., Chilliard, Y.** 2006. Adaptive abilities of the females and sustainability of ruminant livestock systems. A review. *Animal Research* 55: 489-510.
- Blanco, M., Sanz, A., Ripoll, G., Albertí, P., Casasús, I.** 2004. Effet du sevrage précoce sur les performances à l'engraissement des veaux produits en conditions de montagne. En: 11^{èmes} Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, Paris. P 242.
- Blanco, M., Casasús, I., Delgado, I., Albertí, P., Joy, M.** 2005a. Cebo de terneros en praderas de alfalfa: efecto de distintas alternativas de manejo sobre los rendimientos. *Información Técnica Económica Agraria*: 216-218.
- Blanco, M., Sanz, A., Bernués, A., Revilla, R., Casasús, I.** 2005b. Efecto del destete precoz sobre los rendimientos técnico-económicos de los sistemas de producción de terneros en condiciones de montaña. *Información Técnica Económica Agraria* 26: 213-215.

- Blanco, M., Villalba, D., Sanz, A., Revilla, R., Casasús, I.** 2005c. Association entre le taux de croissance et les niveaux plasmatiques d'IGF-I des veaux sevrés a différent âge. En: 12^{èmes} Recherches Rencontres Ruminants, Paris. P 210.
- Blanco, M., Sanz, A., Bernués, A., Revilla, R., Casasús, I.** 2006. Effect of early weaning and calf supplementation on cow and calf performance in dry mountain areas. En: 57th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Antalya, Turquía. P 76.
- Blanco, M., Ripoll, G., Albertí, P., Sanz, A., Revilla, R., Villalba, D., Casasús, I.** Effect of early weaning on performance, carcass and meat quality of spring-born bull calves raised in dry mountain areas. *Livestock Science*. En prensa.
- Blasco, I., Olleta, J.L., San Juan, L., Revilla, R.** 1992. The Pyrenean breed: some production trials and the interest in its conservation in mountain areas. *Archivos de Zootecnia* 41: 549-553.
- Block, S.S., Smith, J.M., Ehrhardt, R.A., Diaz, M.C., Rhoads, R.P., Van Amburgh, M.E., Boisclair, Y.R.** 2003. Nutritional and Developmental Regulation of Plasma Leptin in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science* 86: 3206-3214.
- Boissy, A.** 1998. Fear and fearfulness in determining behavior. En: Grandin, T. (ed.) *Genetics and the Behavior of Domestic Animals*. P 67-111. Academic Press, New York, EE.UU.
- Boissy, A., Bouissou, M.F.** 1988. Effects of Early Handling on Heifers' Subsequent Reactivity to Humans and to Unfamiliar Situations. *Applied Animal Behaviour Science* 20: 259-273.
- Boissy, A., Fisher, A.D., Bouix, J., Hinch, G.N., Le Neindre, P.** 2005. Genetics of fear in ruminant livestock. *Livestock Production Science* 93: 23-32.
- Boivin, X., Le Neindre, P., Chupin, J.M.** 1992. Establishment of cattle-human relationships. *Applied Animal Behaviour Science* 32: 325-335.
- Boivin, X., Nowak, R., Garcia, A.T.** 2001. The presence of the dam affects the efficiency of gentling and feeding on the early establishment of the stockperson-lamb relationship. *Applied Animal Behaviour Science* 72 89-103.
- Bowden, D.M.** 1981. Feed utilization for calf production in the first lactation by 2-year-old F₁ crossbred beef cows. *Journal of Animal Science* 51: 304-315.
- Brandstetter, A.M., Picard, B., Geay, Y.** 1998. Muscle fibre characteristics in four muscles of growing male cattle II. Effect of castration and feeding level. *Livestock Production Science* 53: 25-36.
- Brandt, M.M., Keisler, D.H., Meyer, D.L., Schmidt, T.B., Berg, E.P.** 2007. Serum hormone concentrations relative to carcass composition of a random allotment of commercial-fed beef cattle. *Journal of Animal Science* 85: 267-275.
- Breier, B.H., Bass, J.J., Butler, J.H., Gluckman, P.D.** 1986. The somatotrophic axis in young steers: influence of nutritional status on pulsatile release of growth hormone and circulating concentrations of insulin-like growth factor 1. *Journal of Endocrinology* 111: 209-215.
- Breier, B.H.** 1999. Regulation of protein and energy metabolism by the somatotrophic axis. *Domestic Animal Endocrinology* 17: 209-218.
- Breier, B.H., Gluckman, P.D., Bass, J.J.** 1988a. The somatotrophic axis in young steers: influence of nutritional status and oestradiol-17 β on hepatic high- and low-affinity somatotrophic binding sites. *Journal of Endocrinology* 116: 169-177.

- Breier, B.H., Gluckman, P.D., Bass, J.J.** 1988b. Influence of nutritional status and oestradiol-17 β on plasma growth hormone, insulin-like growth factors-I and -II and the response to exogenous growth hormone in young steers. *Journal of Endocrinology* 118: 243-250.
- Breier, B.H., Gluckman, P.D., Bass, J.J.** 1988c. Plasma concentrations of insulin-like growth factor-I and insulin in the infant calf: ontogeny and influence of altered nutrition. *Journal of Endocrinology* 119: 43-50.
- Breier, B.H., Gluckman, P.D.** 1991. The regulation of postnatal growth: nutritional influences on endocrine pathways and function of the somatotrophic axis. *Livestock Production Science* 27: 77-94.
- Breier, B.H., Sauerwein, H.** 1995. Regulation of growth in ruminants by the somatotrophic axis. En: von Engelhardt, W., Leonhard-Marek, S., Breves, G. and Giesecke, D. (ed.) *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*. P 451-474, F. Enke Verlag, Stuttgart, Alemania.
- Bruckmaier, R.M., Lehmann, E., Hugl, D., Hammon, H.M., Blum, J.W.** 1998. Ultrasonic measurement of longissimus dorsi muscle and backfat, associated with metabolic and endocrine traits, during fattening of intact and castrated male cattle. *Livestock Production Science* 53: 123-134.
- Bueno, A.R., Rasby, R., Clemens, E.T.** 2003. Age at weaning and the endocrine response to stress. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 55: 1-7.
- Burrow, H.M., Sesifer, G.W., Corbet, N.J.** 1988. A new technique for measuring temperament in cattle. En: *Proceedings of the Australian Association of Animal Breeding and Genetics*. P 208-211.
- Burrow, H.M.** 1997. Measurements of temperament and their relationships with performance traits of beef cattle. En: *Animal Breeding Abstracts*. P 477-495.
- Burrow, H.M., Dillon, R.D.** 1997. Relationships between temperament and growth in a feedlot and commercial carcass traits of *Bos indicus* crossbreds. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 37: 407-411.
- Buskirk, D.D., Faulkner, D.B., Hurley, W.L., Kesler, D.J., Ireland, F.A., Nash, T.G., Castree, J.C., Vicini, J.L.** 1996. Growth, reproductive performance, mammary development, and milk production of beef heifers as influenced by prepubertal dietary energy and administration of bovine somatotropin. *Journal of Animal Science* 74: 2649-2662.
- Butler-Hogg, B.W., Prescott, J.H.D., Lowman, B.G.** 1981. A note on the effect of early weaning on performance and carcass characteristics in Angus cross and Charolais cross steers. *Animal Production* 33: 211-214.
- Butts, W.T., Jr., Onks, D.O., Neel, J.B., Corrick, J.A., Holloway, J.W.** 1984. Relationships between traits of cow-calf pairs and a measure of partial efficiency. *Journal of Animal Science* 59: 1176-1184.
- Campo, M.M., Sañudo, C., Panea, B., Albertí, P., Santolaria, P.** 1999. Breed type and ageing time effects on sensory characteristics of beef strip loin steaks. *Meat Science* 51: 383-390.
- Campo, M.M., Santolaria, P., Sañudo, C., Lepetit, J., Olleta, J.L., Panea, B., Albertí, P.** 2000. Assessment of breed type and ageing time effects on beef meat quality using two different texture devices. *Meat Science* 55: 371-378.

- Casasús, I.** 1998. Contribución al estudio de los sistemas de producción de ganado vacuno en zonas de montaña: Efecto de la raza y de la época de parto sobre la ingestión voluntaria de forrajes y los rendimientos en pastoreo. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
- Casasús, I., Bernués, A., Sanz, A., Revilla, R.** 2001a. Alimentación de la vaca y el ternero durante la lactación y el cebo en sistemas extensivos de montaña: (I) Rendimientos del rebaño en lactación. *Información Técnica Económica Agraria* 22: 433-435.
- Casasús, I., Bernués, A., Sanz, A., Alzón, M., Eguinoa, P.** 2001b. Alimentación de la vaca y el ternero durante la lactación y el cebo en sistemas extensivos de montaña: (II) Rendimientos de los terneros en cebo y eficiencia biológica. *Información Técnica Económica Agraria* 22: 436-438.
- Casasús, I., Sanz, A., Villalba, D., Ferrer, R., Revilla, R.** 2002. Factors affecting animal performance during the grazing season in a mountain cattle production system. *Journal of Animal Science* 80: 1638-1651.
- Casasús, I., Bernués, A., Sanz, A., Villalba, D., Riedel, J.L., Revilla, R.** 2007a. Vegetation dynamics in Mediterranean forests pastures as affected by beef cattle grazing. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121: 365-370.
- Casasús, I., Blanco, M., Sanz, A., Bernués, A., Revilla, R.** 2007b. Consecuencias técnicas del destete precoz de los terneros nacidos en otoño sobre los rendimientos del rebaño en sistemas extensivos. *Información Técnica Económica Agraria* 28: 315-317
- Casasús, I., Blanco, M., Sanz, A., Bernués, A., Revilla, R.** 2007c. Consecuencias económicas del destete precoz de los terneros nacidos en otoño para distintos tipos de explotaciones de vacuno. *Información Técnica Económica Agraria* 28: 318-320.
- Casasús, I., Blanco, M., Sanz, A., Bernués, A., Revilla, R.** 2006. Considerations on the impact of early weaning of fall-born beef calves on system efficiency and potential use of pastures. En: Biala, K., Nösberger, J., Parente, G., Peeters, A. (eds.) *Quality production and quality of the environment in the mountain pastures of an enlarged Europe*. P 285-294. ERSA-Agenzia Regionale per lo Sviluppo Rurale.
- Casasús, I., Bernués, A., Sanz, A., Riedel, J.L., Revilla, R.** 2005. Utilization of Mediterranean forest pastures by suckler cows: animal performance and impact on vegetation dynamics. En: Georgoudis, A., Rosati, A., Mosconi, C. (eds.) *Animal production and natural resources utilisation in the Mediterranean mountain areas* No. EAAP Publication No. 115. P 82-88. Wageningen Academic Publishers, Wageningen (Holanda).
- Cassar-Malek, I., Kahl, S., Jurie, C., Picard, B.** 2001. Influence of feeding level during postweaning growth on circulating concentrations of thyroid hormones and extrathyroidal 5'-deiodination in steers. *Journal of Animal Science* 79: 2679-2687.
- Chacón, G., García-Belenguer, S., Illera, J.C., Palacio, J.** 2004. Validation of an EIA technique for the determination of salivary cortisol in cattle. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2: 45-51.
- Cerdeño, A., Vieira, C., Serrano, E., Lavín, P., Mantecón, A.R.** 2006. Effects of feeding intensity during a short finishing period on performance, carcass and meat quality in previously-grazed young bulls. *Meat Science* 72: 719-726.
- Chilliard, Y., Bocquier, F., Delavaud, C., Guerre-Millo, M., Bonnet, M., Martin, P., Faulconnier, Y., Ferlay, A.** 1998. Leptin in ruminants: effects of species, breed,

- adiposity, photoperiod, beta-agonists and nutritional status, Cornell University, N.Y. EE.UU. P 65-74.
- Chilliard, Y., Bocquier, F., Delavaud, C., Faulconnier, Y., Bonnet, M., Guerre Millo, M., Martin, P., Ferlay, A.** 1999. La leptine chez le ruminant. Facteurs de variation physiologiques et nutritionnels. *Productions Animales* 12: 225-237.
- Chilliard, Y., Bonnet, M., Delavaud, C., Faulconnier, Y., Leroux, C., Djiane, J., Bocquier, F.** 2001. Leptin in ruminants. Gene expression in adipose tissue and mammary gland, and regulation of plasma concentration. *Domestic Animal Endocrinology* 21: 271-295.
- Chilliard, Y., Delavaud, C., Bonnet, M.** 2005. Leptin expression in ruminants: nutritional and physiological regulations in relation with energy metabolism. *Domestic Animal Endocrinology* 29: 3-22.
- Church, J.S., Hudson, R.J.** 1997. Comparison of the stress of abrupt and interval weaning of farmed wapiti calves (*Cervus elaphus*). *Small Ruminant Research* 32: 119-124.
- Connor, E.E., Barao, S.M., Kimrey, A.S., Parlier, A.B., Douglass, L.W., Dahl, G.E.** 2000. Predicting growth in Angus bulls: the use of GHRH challenge, insulin-like growth factor-I, and insulin-like growth factor binding proteins. *Journal of Animal Science* 78: 2913-2918.
- Coppo, J.A., Mussart, N.B., Revidatti, M.A., Capellari, A.** 2003. Absence of biochemically demonstrable stress in early weaned half-bred zebu calves *Ciencia e Investigación Agraria* 30: 97-105.
- Corah, L.R., Bishop, A.H.** 1975. Effect of creep feeding oat grain to beef calves on their growth rate, carcass composition and post-weaning performance in a feedlot. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 15: 293-298.
- Coulon, J.-B., Priolo, A.** 2002. La qualité sensorielle des produits laitiers et de la viande dépend des fourrages consommés par les animaux. *Inra Productions Animales*. 15 (5): 333-342.
- Creus, J.** 1983. El clima en el Alto Aragón occidental. *Monografías del Instituto de Estudios Pirenaicos*, Jaca.
- Creus, J.** 1989. Características climáticas más relevantes Introducción a la ecología del Pirineo Aragonés. *Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC)*, Jaca.
- Crookshank, H.R., Elissalde, M.H., White, R.G., Clanton, D.C., Smalley, H.E.** 1979. Effect of transportation and handling of calves upon blood serum composition. *Journal of Animal Science* 48: 430-435.
- Dantzer, R., Mornede, P., Bluthe, R.M., Soissons, J.** 1983. The effect of different housing conditions on behavioral and adrenocortical reactions in veal calves. *Reproduction Nutrition Development* 23: 501-508.
- Davis, M.E., Bishop, M.D., Park, N.H., Simmen, R.C.** 1995. Divergent selection for blood serum insulin-like growth factor I concentration in beef cattle: I. Nongenetic effects. *Journal of Animal Science* 73: 1927-1932.
- Davis, M.E., Simmen, R.C.M.** 2006. Genetic parameter estimates for serum insulin-like growth factor I concentrations, and body weight and weight gains in Angus beef cattle divergently selected for serum insulin-like growth factor I concentration. *Journal of Animal Science* 84: 2299-2308.

- Davis, S.L., Hossner, K.L., Ohlson, D.L.** 1984. Endocrine regulation of growth in ruminants. En: O'Callaghan, J.F.R.a.D. (ed.) Manipulation of growth in farm animals. P 151-183, Martinus Nijhoff, Boston.
- Delavaud, C., Faulconnier, Y., Bocquier, F., Chilliard, Y.** 1999. Pre- and postprandial changes in plasma leptin and insulin during underfeeding and refeeding in dry cows. *Proceedings of the Nutrition Society* 58: 108A.
- Delavaud, C., Bocquier, F., Chilliard, Y., Keisler, D.H., Gertler, A., Kann, G.** 2000. Plasma leptin determination in ruminants: effect of nutritional status and body fatness on plasma leptin concentration assessed by a specific RIA in sheep. *Journal of Endocrinology* 165: 519-526.
- Delavaud, C., Ferlay, A., Faulconnier, Y., Bocquier, F., Kann, G., Chilliard, Y.** 2002. Plasma leptin concentration in adult cattle: effects of breed, adiposity, feeding level, and meal intake. *Journal of Animal Science* 80: 1317-1328.
- D'Hour, P., Revilla, R., Wright, I.A.** 1998. Adaptations possibles de la conduite du troupeau allaitant aux situations extensives. *INRA Productions Animales* 11: 376-386.
- Drouillard, J.S., Kuhl, G.L.** 1999. Effects of previous grazing nutrition and management on Feedlot Performance of cattle. *Journal of Animal Science* 77 (suppl. 2): 136-146.
- Duckett, S.K., Wagner, D.G., Yates, L.D., Dolezal, H.G., May, S.G.** 1993. Effects of time on feed on beef nutrient composition. *Journal of Animal Science* 71: 2079-2088.
- Duncan, J.R., Prasse, K.W.** 1986. *Veterinary Laboratory Medicine*. 2nd ed. Iowa State University Press, Ames, Iowa, EE.UU.
- Earley, B., Crowe, M.A.** 2002. Effects of ketoprofen alone or in combination with local anesthesia during the castration of bull calves on plasma cortisol, immunological, and inflammatory responses. *Journal of Animal Science* 80: 1044-1052.
- Echeverria, T.** 1975. Raza vacuna pirenaica. Evolución, situación actual y perspectivas. Diputación Foral de Navarra, Pamplona.
- EFSA** 2006. The risks of poor welfare in intensive calf farming systems. *EFSA Journal* 366: 1-36.
- Ehrhardt, R.A., Slepetic, R.M., Siegal-Willott, J., Van Amburgh, M.E., Bell, A.W., Boisclair, Y.R.** 2000. Development of a specific radioimmunoassay to measure physiological changes of circulating leptin in cattle and sheep. *Journal of Endocrinology* 166: 519-528.
- Ellenberger, M.A., Johnson, D.E., Carstens, G.E., Hossner, K.L., Holland, M.D., Nett, T.M., Nockels, C.F.** 1989. Endocrine and metabolic changes during altered growth rates in beef cattle. *Journal of Animal Science* 67: 1446-1454.
- Elsasser, T.H., Rumsey, T.S., Hammon, H.M.** 1989. Influence of diet on basal and growth hormone-stimulated plasma concentrations of IGF-1 in beef cattle. *Journal of Animal Science* 67: 128-141.
- Faulkner, D.B., Hummel, D.F., Buskirk, D.D., Berger, L.L., Parrett, D.F., Cmarik, G.F.** 1994. Performance and nutrient metabolism by nursing calves supplemented with limited or unlimited corn or soyhulls. *Journal of Animal Science* 72: 470-477.
- Fell, L.R., Colditz, I.G., Walker, K.H., Watson, D.L.** 1999. Associations between temperament, performance and immune function in cattle entering a commercial feedlot. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 39: 795-802
- Ferrell, C.L., Jenkins, T.G.** 1985. Cow type and the nutritional environment: nutritional aspects. *Journal of Animal Science* 61: 725-741.

- Fisher, A.D., Crowe, M.A., O'Neill, E.M., Monaghan, M.L., Prendiville, D.J., O'Kiely, P., Enright, W.J.** 1997. Effects of suppressing cortisol following castration of bull calves on adrenocorticotrophic hormone, in vitro interferon-gamma production, leukocytes, acute-phase proteins, growth, and feed intake. *Journal of Animal Science* 75: 1899-1908.
- Fluharty, F.L., Loerch, S.C., Turner, T.B., Moeller, S.J., Lowe, G.D.** 2000. Effects of weaning age and diet on growth and carcass characteristics in steers. *Journal of Animal Science* 78: 1759-1767.
- Gaines, W.L.** 1928. The energy basis of measuring milk yield in dairy cows. *Illinois Agricultural Experimental Station Bulletin* 308.
- Galindo-Gonzalez, S., Arthington, J.D., Yelich, Y.V., Hansen, G.R., Lamb, G.C., De Vries, A.** 2007. Effects of cow parity on voluntary hay intake and performance responses to early weaning of beef calves. *Livestock Science* 110: 148-153.
- García-Belenguier, S., Palacio, J., Gascón, M., Aceña, C., Revilla, R., Mormède, P.** 1996. Differences in the biological stress responses of two cattle breeds to walking up to mountain pastures in the Pyrenees. *Veterinary Research* 27: 515-526.
- García-Martínez, A., Bernués, A., Riedel, J.L., Olaizola, A.M.** 2006. Recent evolution of suckler cow farming systems in the Spanish central Pyrenees. En: 2nd Seminar of the Mediterranean Livestock Farming Network "Mediterranean livestock production: uncertainties and opportunities", Zaragoza
- Garín, I.** 1997. *Ecología del ciervo (Cervus elaphus) en la Reserva de Caza de La Garcipollera (Huesca)*. Tesis Doctoral, Universidad del País Vasco, Lejona.
- Geary, T.W., McFadin, E.L., MacNeil, M.D., Grings, E.E., Short, R.E., Funston, R.N., Keisler, D.H.** 2003. Leptin as a predictor of carcass composition in beef cattle. *Journal of Animal Science* 81: 1-8.
- Geay, Y., Bauchart, D., Hocquette, J.F., Culioli, J.** 2001. Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat. *Reproduction Nutrition Development* 41: 1-26.
- Gil, M., Serra, X., Gispert, M., Oliver, M.A., Sañudo, C., Panea, B., Olleta, J.L., Campo, M.M., Oliván, M.C., Osoro, K., García-Cachán, M.D., Cruz-Segredo, R., Izquierdo, M., Espejo, M., Martín, M., Piedrafita, J.** 2001. The effect of breed-production systems on the myosin heavy chain 1, the biochemical characteristics and the colour variables of *Longissimus thoracis* from seven Spanish beef cattle breeds. *Meat Science* 58: 181-188.
- Griffin, J.F.** 1989. Stress and immunity: a unifying concept. *Veterinary immunology and immunopathology* 20: 263-312.
- Grings, E.E., Short, R.E., Klement, K.D., Geary, T.W., MacNeil, M.D., Haferkamp, M.R., Heitschmidt, R.K.** 2005. Calving system and weaning age effects on cow and preweaning calf performance in the Northern Great Plains. *Journal of Animal Science* 83: 2671-2683.
- Guérin, G., Leger, F., Pflimlin, A.** 1994. *Stratégie d'alimentation. Méthodologie d'analyse et de diagnostic de l'utilisation et de la gestion des surfaces fourragères et pastorales*. Institut de l'Élevage, Paris.
- Hayden, J.M., Williams, J.E., Collier, R.J.** 1993. Plasma growth hormone, insulin-like growth factor, insulin, and thyroid hormone association with body protein and fat

- accretion in steers undergoing compensatory gain after dietary energy restriction. *Journal of Animal Science* 71: 3327-3338.
- Hays, C.L., Davenport, G.M., Osborn, T.G., Mulvaney, D.R.** 1995. Effect of dietary protein and estradiol-17 beta on growth and insulin-like growth factor I in cattle during realimentation. *Journal of Animal Science* 73: 589-597.
- Hennessy, D.W., Morris, S.G., Allingham, P.G.** 2001. Improving the pre-weaning nutrition of calves by supplementation of the cow and/or calf while grazing low quality pastures 2. Calf growth, carcass yield and eating quality. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41: 715-724.
- Henricks, D.M., Jenkins, T.C., Ward, J.R., Krishnan, C.S., Grimes, L.** 1994. Endocrine responses and body composition changes during feed restriction and realimentation in young bulls. *Journal of Animal Science* 72: 2289-2297.
- Henry, J.P.** 1993. Biological basis of the stress responses. *News in Physiological Sciences* 8: 69-73.
- Hersom, M.J., Wettemann, R.P., Krehbiel, C.R., Horn, G.W., Keisler, D.H.** 2004. Effect of live weight gain of steers during winter grazing: III. Blood metabolites and hormones during feedlot finishing. *Journal of Animal Science* 82: 2059-2068.
- Hickey, M.C., Drennan, M., Earley, B.** 2003. The effect of abrupt weaning of suckler calves on the plasma concentrations of cortisol, catecholamines, leukocytes, acute-phase proteins and in vitro interferon-gamma production. *Journal of Animal Science* 81: 2847-2855.
- Hixon, D.L., Fahey, G.C., Jr., Kesler, D.J., Neumann, A.L.** 1982. Effects of creep feeding and monensin on reproductive performance and lactation of beef heifers. *Journal of Animal Science* 55: 467-474.
- Hoch, T., Begon, Cassar-Malek, I., Picard, B., Savary-Auzeloux, I.** 2003. Mécanismes et conséquences de la croissance compensatrice chez les ruminants. *Inra Productions Animales* 16: 49-59.
- Honickel, K.O.** 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of Meat. *Meat Science* 49: 447-457.
- Hornick, J.L., Van Eenaeme, C., Diez, M., Minet, V., Istasse, L.** 1998. Different periods of feed restriction before compensatory growth in Belgian Blue bulls: II. Plasma metabolites and hormones. *Journal of Animal Science* 76: 260-271.
- Hossner, K.L.** 2005. Hormonal regulation of farm animal growth. CABI Publishing, Wallingford, Oxfordshire, UK.
- Hossner, K.L., McCusker, R.H., Dodson, M.V.** 1997. Insulin-like growth factors and their binding proteins in domestic animals. *Animal Science* 64: 1-15.
- Houghton, P.L., Lemenager, R.P., Horstman, L.A., Hendrix, K.S., Moss, G.E.** 1990. Effects of body composition, pre- and postpartum energy level and early weaning on reproductive performance of beef cows and preweaning calf gain. *Journal of Animal Science* 68: 1438-1446.
- Houseknecht, K.L., Portocarrero, C.P., Ji, S., Lemenager, R.P., Spurlock, M.E.** 2000. Growth hormone regulates leptin gene expression in bovine adipose tissue: correlation with adipose IGF-1 expression. *Journal of Endocrinology* 164: 51-57.
- I.N.R.A.** 1981. Alimentation des ruminants. INRA Publications, Versailles.

- Insausti, K., Beriain, M.J., Alzueta, M.J., Carr, T.R., Purroy, A.** 2004. Lipid composition of the intramuscular fat of beef from Spanish cattle breeds stored under modified atmosphere. *Meat Science* 66: 639-646.
- Istasse, L., Van Eenaeme, C., Evrard, P., Gabriel, A., Baldwin, P., Maghuin-Rogister, G., Bienfait, J.M.** 1990. Animal performance, plasma hormones and metabolites in Holstein and Belgian Blue growing-fattening bulls. *Journal of Animal Science* 68: 2666-2673.
- Jarrige, R.** 1974. Bases physiologiques de l'alimentation des vaches allaitantes. L'exploitation des troupeaux de vaches allaitantes. VI Journées d'information du Grenier de Theix. Suppl. Bulletin Technique C.R.Z.V.: 323-345.
- Jenkins, T.G., Ferrell, C.L.** 1994. Productivity through weaning of nine breeds of cattle under varying feed availabilities: I. Initial evaluation. *Journal of Animal Science* 72: 2787-2797.
- Jones, J.M., Jones, J.H.** 1982. Creep feeding range calves. *Texas Agricultural Experimental Station Bulletin* 470.
- Julien, D.J., Tess, M.W.** 2002. Effects of breeding date, weaning date, and grazing season length on profitability of cow-calf production systems in southeastern Montana. *Journal of Animal Science* 80: 1462-1469.
- Kerr, D.E., Laarveld, B., Fehr, M.I., Manns, J.G.** 1991. Profiles of serum IGF-1 concentrations in calves from birth to eighteen months of age and in cows throughout the lactation cycle. *Canadian Journal of Animal Science* 71: 695-705.
- Krohn, C.C., Boivin, X., Jago, J.G.** 2003. The presence of the dam during handling prevents the socialization of young calves to humans. *Applied Animal Behaviour Science* 80: 263-275
- Laborde, F.L., Mandell, I.B., Tosh, J.J., Buchanan-Smith, J.G., Wilton, J.W.** 2002. Effect of management strategy on growth performance, carcass characteristics, fatty acid composition, and palatability attributes in crossbred steers. *Canadian Journal of Animal Science* 82: 49-57.
- Laurent, C., Maxime, F., Mazé, A., Tichit, M.** 2003. Multifonctionnalité de l'agriculture et modèles de l'exploitation agricole. *Economie Rurale* 273-274: 134-152.
- Le Du, Y.L.P., Macdonald, A.J., Peart, J.N.** 1979. Comparison of two techniques for estimating the milk production of suckler cows. *Livestock Production Science* 6: 277-281.
- Lefcourt, A.M., Elsasser, T.H.** 1995. Adrenal responses of Angus x Hereford cattle to the stress of weaning. *Journal of Animal Science* 73: 2669-2676.
- Lishman, A.W., Snyman, J.W., Moolman, J.Z.** 1984. Reconception and body-mass changes of energy supplemented first-calver beef cows and growth of their creepfed calves. *South African Journal of Animal Science* 14: 20-25.
- Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W., Wolfinger, R.D.** 1996. SAS System for Mixed Models, Cary, NC, EE.UU.
- Lusby, K.S., Wettemann, R.P., Turman, E.J.** 1981. Effects of early weaning calves from first-calf heifers on calf and heifer performance. *Journal of Animal Science* 53: 1193-1197.
- Makarechian, M., Kubisch, H.M., Price, M.A.** 1988. Effects of date of weaning on subsequent performance of beef cows and their female calves. *Canadian Journal of Animal Science* 68: 1035-1040.

- Manrique, E., Revilla, R., Olaizola, A., Bernués, A.** 1992. Los sistemas de producción de vacuno en montaña y su dependencia del entorno. *Bovis* 42: 9-42.
- Martin, T.G., Lemenager, R.P., Srinivasan, G., Alenda, R.** 1981. Creep feed as a factor influencing performance of cows and calves. *Journal of Animal Science* 53: 33-39.
- Matsuzaki, M., Sato, T., Morita, S., Shiba, N., Tsuneishi, E., Hara, S., Ozutsumi, K., Yamaguchi, T.** 2001. Pulsatile growth hormone secretion, circulating insulin-like growth factor-1 concentration and cellular density of somatotrophs differ between Wagyu and Holstein steers. *Animal Science* 73: 425-432.
- McCall, D.G., Scott, M.L., Dow, B.W.** 1988. Calf weaning and summer grazing strategies for efficient beef cow use on hill country. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 48: 237-242.
- McCartney, D., Basarab, J.A., Okine, E.K., Baron, V.S., Depalme, A.J.** 2004. Alternative fall and winter feeding systems for spring calving beef cows. *Canadian Journal of Animal Science* 84: 511-522.
- McFadin, E.L., Keisler, D.H., Schmidt, T.B., Lorenzen, C.L., Berg, E.P.** 2003. The relationship between serum leptin concentrations. *Journal of Animal Science* 80: 57.
- McGuire, M.A., Vicini, J.L., Bauman, D.E., Veenhuizen, J.J.** 1992. Insulin-like growth factors and binding proteins in ruminants and their nutritional regulation. *Journal of Animal Science* 70: 2901-2910.
- Mendizabal, J.A., Albertí, P., Eguinoa, P., Arana, A., Soret, B., Purroy, A.** 1999. Adipocyte size and lipogenic enzyme activities in different adipose tissue depots in steers of local Spanish breeds. *Animal Science* 69: 115-121.
- Mendizábal, J.A., Ibarbia, J.R., Etxaniz, J.M.** 2005. Contributions to Pirenaica cattle breed history, paradigm of Spanish livestock production. *Archivos de Zootecnia* 54: 39-50.
- Meyer, D.L., Kerley, M.S., Walker, E.L., Keisler, D.H., Pierce, V.L., Schmidt, T.B., Stahl, C.A., Linville, M.L., Berg, E.P.** 2005. Growth rate, body composition, and meat tenderness in early vs. traditionally weaned beef calves. *Journal of Animal Science* 83: 2752-2761.
- Minton, J.E., Bindel, D.J., Drouillard, J.S., Titgemeyer, E.C., Grieger, D.M., Hill, C.M.** 1998. Serum leptin is associated with carcass traits in finishing cattle. *Journal of Animal Science* 76: 231 (Abstr.).
- Montaño-Bermúdez, M., Nielsen, M.K.** 1990. Reproductive performance and variation in body weight during annual cycles for crossbred beef cows with different genetic potential for milk. *Journal of Animal Science* 68: 2289-2296.
- Moore, K.L., Johnston, D.J., Graser, H.-U., Herd, R.** 2005. Genetic and phenotypic relationships between insulin-like growth factor-1 (IGF-1) and net feed intake, fat and growth traits in Angus beef cattle. *Australian Journal of Agricultural Research* 56: 211-218.
- Morris, C.A., Wilton, J.W.** 1976. Influence of body size on the biological efficiency of cows: a review. *Canadian Journal of Animal Science* 56: 613-647.
- Muir, P.D., Deaker, J.M., Bown, M.D.** 1998. Effects of forage- and grain-based feeding systems on beef quality: a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 41: 623-635.

- Müller, R., von Keyserlingk, M.A.G.** 2006. Consistency of flight speed and its correlation to productivity and to personality in *Bos taurus* beef cattle. *Applied Animal Behaviour Science* 99: 193-204.
- Myers, S.E., Faulkner, D.B., Ireland, F.A., Berger, L.L., Parrett, D.F.** 1999a. Production systems comparing early weaning to normal weaning with or without creep feeding for beef steers. *Journal of Animal Science* 77: 300-310.
- Myers, S.E., Faulkner, D.B., Nash, T.G., Berger, L.L., Parrett, D.F., McKeith, F.K.** 1999b. Performance and carcass traits of early-weaned steers receiving either a pasture growing period or a finishing diet at weaning. *Journal of Animal Science* 77: 311-322.
- Myers, S.E., Faulkner, D.B., Ireland, F.A., Parrett, D.F.** 1999c. Comparison of three weaning ages on cow-calf performance and steer carcass traits. *Journal of Animal Science* 77: 323-329.
- National Research Council (Committee on Animal Nutrition, S.o.B.C.N.** 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle: Seventh Revised Edition: Update 2000*. National Academy Press, Washington D.C.
- Neville, W.E., Jr., McCormick, W.C.** 1981. Performance of early- and normal-weaned beef calves and their dams. *Journal of Animal Science* 52: 715-724.
- Nugent, R.A., III, Jenkins, T.G., Roberts, A.J., Klindt, J.** 1993. Relationship of post-partum interval in mature beef cows with nutritional environment, biological type and serum IGF-1 concentrations. *Animal Production* 56: 193-200.
- Ochoa, P.G., Mangus, W.L., Brinks, J.S., Denham, A.H.** 1981. Effect of creep feeding bull calves on dam Most Probable Producing Ability values. *Journal of Animal Science* 53: 567-574.
- O'Donovan, P.B.** 1984. Compensatory gain in cattle and sheep. *Nutrition Abstracts and Reviews* 54(8): 389-410.
- Osoro, K., Wright, I.A.** 1992. The effect of body condition, live weight, breed, age, calf performance, and calving date on reproductive performance of spring-calving beef cows. *Journal of Animal Science* 70: 1661-1666.
- Ouellet, D.R., Seoane, J.R., Bernier, J.F., Lapierre, H.** 2001. Effect of feed restriction on plasma concentration of hormones and metabolites in steers fed grass silage. *Canadian Journal of Animal Science* 81: 553-561.
- Owens, F.N., Gill, D.R., Secrist, D.S., Coleman, S.W.** 1995. Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 73: 3152-3172.
- Palacio, J.** 2000. Estudio comparativo de la respuesta de adaptación de dos razas bovinas: Parda Alpina y Pirenaica. Tesis Doctoral Universidad de Zaragoza, Zaragoza.
- Palacio, J., Chacón, G., García-Belenguer, S., Sanz, A., Casasús, I.** 2005. El test de velocidad de salida en la valoración del comportamiento en el ganado bovino. *Información Técnica Económica Agraria*: 327-329.
- Pang, H., Makaerchian, M., Basarab, J.A., Berg, R.T.** 1999. Application of a dynamic simulation model on the effects of calving season and weaning age on bioeconomic efficiency. *Canadian Journal of Animal Science* 79: 419-424.
- Parkins, J.J., Morris, C.A., Wilton, J.W.** 1977. Estimates of creep feed requirements of nursing calves and the total energy requirements of both cow and calf to produce the weaned calf. *Canadian Journal of Animal Science* 57: 53-64.

- Patterson, D.C., Steen, R.W.J., Kilpatrick, D.J.** 1995. Growth and development in beef cattle. 1. Direct and residual effects of plane of nutrition during early life on components of gain and food efficiency. *Journal of Agricultural Science* 124: 91-100.
- Patterson, D.C., Steen, R.W.J.** 1995. Growth and development in beef cattle. 2. Direct and residual effects of plane of nutrition during early life on the chemical composition of body components. *Journal of Agricultural Science* 124: 101-111.
- Payne, J.M., Payne, S.** 1987. *The Metabolic Profile Test*. Oxford University Press, Oxford.
- Peterson, G.A., Turner, T.B., Irvin, K.M., Davis, M.E., Newland, H.W., Harvey, W.R.** 1987. Cow and calf performance and economic considerations of early weaning of fall-born beef calves. *Journal of Animal Science* 64: 15-22.
- Petit, M., Garel, J.P., D'Hour, P., Agabriel, J.** 1995. The use of forages by the beef cow herd. En: M. Journet, E. Grenet, M.H. Farce, M. Thériez, Demarquilly., C. (eds.) *Recent developments in the nutrition of herbivores. Proceedings. Vth International Symposium on the Nutrition of Herbivores*. P 473-496. INRA Editions. Paris.
- Phillips, W.A.** 1984. The effect of assembly and transit stressors on plasma fibrinogen concentration of beef calves. *Canadian Journal of Comparative Medicine* 48: 35-41.
- Phillips, W.A., Juniewicz, P.E., Zavy, M.T., Von Tungeln, D.L.** 1989. The effect of the stress of weaning and transport on white blood cell patterns and fibrinogen concentration of beef calves of different genotypes. *Canadian Journal of Animal Science* 69 (2): 333-340.
- Piedrafita, J., Quintanilla, R., Jordana, J.** 1993. Factores ambientales que influyen sobre el peso al nacimiento y el peso al destete de bovinos de la población Bruna dels Pirineus. *Información Técnica Económica Agraria* 12: 130-132.
- Piedrafita, J., Quintanilla, R., Sañudo, C., Olleta, J.L., Campo, M.M., Panea, B., Renand, G., Turin, F., Jabet, S., Osoro, K., Oliván, M.C., Noval, G., García, P., García, M.D., Oliver, M.A., Gispert, M., Serra, X., Espejo, M., García, S., López, M., Izquierdo, M.** 2003. Carcass quality of 10 beef cattle breeds of the Southwest of Europe in their typical production systems. *Livestock Production Science* 82: 1-13.
- Pollock, J.M., Rowan, T.G., Dixon, J.B., Carter, S.D., Spiller, D., Warenius, H.** 1993. Alteration of cellular immune responses by nutrition and weaning in calves. *Research in Veterinary Science* 55: 298-306.
- Pordomingo, A.J.** 2002. Early weaning and length of supplementation effects on beef calves. *Journal of Range Management* 55: 327-335.
- Prichard, D.L., Hargrove, D.D., Olson, T.A., Marshall, T.T.** 1989. Effects of creep feeding, zeranol implants and breed type on beef production: 1. Calf and cow performance. *Journal of Animal Science* 67: 609-616.
- Priolo, A., Micol, D., Agabriel, J.** 2001. Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour. A review. *Animal Research* 50: 185-200.
- Reist, M., Erdin, D., von Euw, D., Tschuemperlin, K., Leuenberger, H., Delavaud, C., Chilliard, Y., Hammon, H.M., Kuenzi, N., Blum, J.W.** 2003. Concentrate Feeding Strategy in Lactating Dairy Cows: Metabolic and Endocrine Changes with Emphasis on Leptin. *Journal of Dairy Science* 86: 1690-1706.
- Ren, M.Q., Wegner, J., Bellemann, O., Brockmann, G.A., Schneider, F., Teuscher, F., Ender, K.** 2002. Comparing mRNA levels of genes encoding leptin, leptin receptor, and lipoprotein lipase between dairy and beef cattle. *Domestic Animal Endocrinology* 23: 371-381.

- Renaville, R., Devolder, A., Massart, S., Sneyers, M., Burny, A., Portetelle, D.** 1993. Changes in the hypophysial-gonadal axis during the onset of puberty in young bulls. *Journal Reproduction Fertility* 99: 443-449.
- Renaville, R., Van Eenaeme, C., Breier, B.H., Vleurick, L., Bertozzi, C., Gengler, N., Hornick, J.L., Parmentier, I., Istasse, L., Haezenbroeck, V., Massart, S., Portetelle, D.** 2000. Feed restriction in young bulls alters the onset of puberty in relationship with plasma insuline-like growth factor-I (IGF-I) and IGF-binding proteins. *Domestic Animal Endocrinology* 18: 165-176.
- Renaville, R., Hammadi, M., Portetelle, D.** 2002. Role of the somatotropic axis in the mammalian metabolism. *Domestic Animal Endocrinology* 23: 351-360.
- Revilla, R.** 1987. Las zonas de montaña y su entorno económico. Análisis estructural y bases técnicas para la planificación de la ganadería en los altos valles del Sobrarbe (Pirineo Oscense). Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza.
- Revilla, R.** 2002. Producción ganadera sostenible. I.T.E.A. Producción Vegetal. P 133-146.
- Richardson, F.D.** 1979. Analysis of some factors which affect the productivity of beef cows and of their calves in a marginal rainfall area of Rhodesia. 4. The growth and efficiency of live-weight gain of weaned and suckling calves at different ages. *Animal Production* 28: 213-222.
- Ronge, H., Blum, J.** 1989. Insulin-like growth factor I during growth in bulls. *Reproduction Nutrition Development* 29: 105-111.
- Röpke, R., Schams, D., Schwartz, F.J., Kirchgessner, M.** 1994. Growth-related hormones in plasma of bulls, steers and heifers given food with two different energy levels. *Animal Production* 59: 367-677.
- Rule, D.C.** 1997. Direct transesterification of total fatty acids of adipose tissue, and of freeze-dried muscle and liver with boron-trifluoride in methanol. *Meat Science* 46: 23-32.
- Russel, A.J.F., Broadbent, P.J.** 1985. Nutritional needs of cattle in the hills and uplands. En: Maxwell, T.J., Gunn, R.G. (eds.) Hill and upland livestock production. P 55-66. Occasional Publication no. 10, B.S.A.P.
- Ryan, W.J.** 1990. Compensatory growth in cattle and sheep. *Nutrition Abstracts and Reviews. Series B, Livestock Feeds and Feeding* 60: 653-664.
- Ryan, W.J., Williams, I.H., Moir, R.J.** 1993a. Compensatory growth in sheep and cattle. 1. Growth pattern and feed intake. *Australian Journal of Agricultural Research* 44: 1609-1621.
- Ryan, W.J., Williams, I.H., Moir, R.J.** 1993b. Compensatory growth in Sheep and cattle. 2. Changes in body composition and tissue weights. *Australian Journal of Agricultural Research* 44: 1623-1633.
- S.A.S.** 1990. SAS/ STAT User's guide. Version 6, 3rd Edition.
- Sanz, A., Casasús, I., Bernués, A., Bergua, A., Revilla, R., Vijil, E.** 2001. La raza Parda de Montaña en Aragón. *Surcos de Aragón* 73: 32-34.
- Sanz, A., Casasús, I., Villalba, D., Revilla, R.** 2003. Effects of suckling frequency and breed on productive performance, follicular dynamics and postpartum interval in beef cows. *Animal Reproduction Science* 79: 57-69.

- Sanz, A., Bernués, A., Villalba, D., Casasús, I., Revilla, R.** 2004. Influence of management and nutrition on postpartum interval in Brown Swiss and Pirenaica cows. *Livestock Production Science* 86: 179-191.
- Sañudo, C., Albertí, P., Campo, M.M., Olleta, J.L., Panea, B.** 1998. Calidad instrumental de la carne de bovino de siete razas españolas. *Archivos de Zootecnia*. 48: 397-402.
- Sañudo, C., Macie, E.S., Olleta, J.L., Villarroel, M., Panea, B., Albertí, P.** 2004. The effects of slaughter weight, breed type and ageing time on beef meat quality using two different texture devices. *Meat Science* 66: 925-932.
- Sarko, T.A., Bishop, M.D., Davis, M.E.** 1994. Relationship of air temperature, relative humidity, precipitation, photoperiod, wind speed and solar radiation with serum insulin-like growth factor I (IGF-I) concentration in Angus beef cattle. *Domestic Animal Endocrinology* 11: 281-220.
- Sauerwein, H., Heintges, U., Hennies, M., Selhorst, T., Daxenberger, A.** 2004. Growth hormone induced alterations of leptin serum concentrations in dairy cows as measured by a novel enzyme immunoassay. *Livestock Production Science* 87: 189-195.
- SCAHAW.** 2001. The welfare of cattle kept for beef production. Dictorate General Health and Consumer Protection, Dictorate C - Scientific Health Opinions, Unit C2 Scientific. Committee on Animal Health and Animal Welfare. European Commision, Bruselas.
- Scarth, R.D., Miller, R.C., Philliphs, P.J., Sherritt, G.W., Ziegler, J.H.** 1968. Effects of creep feeding and sex on the rate and composition of growth of crossbred calves. *Journal of Animal Science* 27: 596-599.
- Schoonmaker, J.P., Fluharty, F.L., Loerch, S.C., Turner, T.B., Moeller, S.J., Wulf, D.M.** 2001. Effect of weaning status and implant regimen on growth, performance, and carcass characteristics of steers. *Journal of Animal Science* 79: 1074-1084.
- Schoonmaker, J.P., Loerch, S.C., Fluharty, F.L., Zerby, H.N., Turner, T.B.** 2002. Effect of age at feedlot entry on performance and carcass characteristics of bulls and steers. *Journal of Animal Science* 80: 2247-2254.
- Schoonmaker, J.P., Cecava, M.J., Fluharty, F.L., Zerby, H.N., Loerch, S.C.** 2004. Effect of source and amount of energy and rate of growth in the growing phase on performance and carcass characteristics of early- and normal-weaned steers. *Journal of Animal Science*. 82: 273-282.
- Schultz, C.L., Ely, D.G., Aaron, D.K., Burden, B.T., Wyles, J.** 2005. Comparison of an early and normal weaning management system on cow and calf performance while grazing endophyte-infected tall fescue pastures. *Journal of Animal Science* 83: 478-485.
- Short, R.E., Grings, E.E., MacNeil, M.D., Heitschmidt, R.K., Haferkamp, M.R., Adams, D.C.** 1996. Effects of time of weaning, supplement, and sire breed of calf during the fall grazing period on cow and calf performance. *Journal of Animal Science* 74: 1701-1710.
- Smith, D.L., Wiggers, D.L., Wilson, L.L., Comerford, J.W., Harpster, H.W., Cash, E.H.** 2003. Postweaning Behavior and Growth Performance of Early and Conventionally Weaned Beef Calves. *The Professional Animal Scientist* 19: 23-29.
- Stick, D.A., Davis, M.E., Loerch, S.C., Simmen, R.C.M.** 1998. Relationship between blood serum insulin-like growth factor I concentration and postweaning feed efficiency

- of crossbred cattle at three levels of dietary intake. *Journal of Animal Science* 76: 498-505.
- Stookey, J.M., Schwartzkopf-Genswein, K.S., Waltz, C.S., Watts, J.M.** 1997. Effects of remote and contact weaning on behaviour and weight gain of beef calves. *Journal of Animal Science* 75: 157 (Abstr.).
- Story, C.E., Rasby, R.J., Clark, R.T., Milton, C.T.** 2000. Age of calf at weaning of spring-calving beef cows and the effect on cow and calf performance and production economics. *Journal of Animal Science* 78: 1403-1413.
- Stricker, J.A., Matches, A.G., Thompson, G.B., Jacobs, V.E., Martz, F.A., Wheaton, H.N., Currence, H.D., Krause, G.F.** 1979. Cow-calf production on tall fescue-Ladino clover pastures with and without nitrogen fertilization or creep feeding : spring calves. *Journal of Animal Science* 48: 13-25.
- SVC.** 1995. Report on the Welfare of Calves, Scientific Veterinary Committee - Animal Welfare Section. European Commission, Bruselas.
- Tarr, S.L., Faulkner, D.B., Buskirk, D.D., Ireland, F.A., Parrett, D.F., Berger, L.L.** 1994. The value of creep feeding during the last 84, 56, or 28 days prior to weaning on growth performance of nursing calves grazing endophyte-infected tall fescue. *Journal of Animal Science* 72: 1084-1094.
- Thériez, M., Petit, M., Martin-Rosset, W.** 1994. Caractéristiques de la conduite des troupeaux allaitants en zones difficiles. *Annales de Zootechnie* 43: 33-47.
- Tokuda, T., Yano, H.** 2001. Blood leptin concentrations in Japanese Black cattle. *Animal Science* 72: 309-313.
- Tor, M., Estany, J., Francesch, A., Cubiló, M.D.** 2005. Comparison of fatty acid profiles of edible meat, adipose tissues and muscles between cocks and capons. *Animal Research* 54: 413-424.
- Van Eenaeme, C., Clinquart, A., Uytterhaegen, L., Hornick, J.L., Demeyer, D., Istasse, L.** 1994. Postmortem protease activity in relation to protein turnover in Belgian blue bulls with different growth rates. *Science des Aliments* 14: 475-483.
- Veissier, I., Le Neindre, P.** 1989. Weaning in Calves: Its Effects on Social Organization. *Applied Animal Behaviour Science* 24: 43-54.
- Vendramini, J.M.B., Sollenberger, L.E., Dubeux, J.C.B.J., Interrante, S.M., Stewart, R.L.J., Arthington, J.D.** 2006. Concentrate Supplementation Effects on Forage Characteristics and Performance of Early Weaned Calves Grazing Rye-Ryegrass Pastures. *Crop Science* 46: 1595-1600.
- Vestergaard, M., Therkildsen, M., Henckel, P., Jensen, L.R., Andersen, H.R., Sejrsen, K.** 2000. Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on meat and eating quality of young bulls and the relationship between muscle fibre characteristics, fibre fragmentation and meat tenderness. *Meat Science* 54: 187-195.
- Vestergaard, M., Purup, S., Frystyk, J., Lovendahl, P., Sorensen, M.T., Riis, P.M., Flint, D.J., Sejrsen, K.** 2003. Effects of growth hormone and feeding level on endocrine measurements, hormone receptors, muscle growth and performance of prepubertal heifers. *Journal of Animal Science* 81: 2189-2198.
- Vieira, C., Cerdeño, A., Serrano, E., Lavín, P., Mantecón, A.R.** 2007. Breed and ageing extent on carcass and meat quality of beef from adult steers (oxen). *Livestock Science* 107: 62-69.

- Villalba, D., Blanch, M., Casasús, I., Olleta, J.L., Revilla, R.** 1995. Factores que condicionan las variaciones de peso de vacas y terneros durante el pastoreo en zonas de montaña. *Información Técnica Económica Agraria* 16: 156-158.
- Villalba, D., Casasús, I., Sanz, A., Estany, J., Revilla, R.** 2000. Prewaning growth curves in Brown Swiss and Pirenaica calves with emphasis on individual variability. *Journal of Animal Science* 78: 1132-1140.
- Wegner, J., Albrecht, E., Fiedler, I., Teuscher, F., Papstein, H.J., Ender, K.** 2000. Growth- and breed-related changes of muscle fiber characteristics in cattle. *Journal of Animal Science* 78: 1485-1496.
- Wegner, J., Huff, P., Xie, C.P., Schneider, F., Teuscher, F., Mir, P.S., Mir, Z., Kazala, E.C., Weselake, R.J., Ender, K.** 2001. Relationship of plasma leptin concentration to intramuscular fat content in beef from crossbred Wagyu cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 81: 451-457.
- Williams, D.B., Vetter, R.L., Burroughs, W., Topel, D.G.** 1975. Effects of ration protein level and diethylstilbestrol implants on early-weaned beef bulls. *Journal of Animal Science* 41: 1525-1531.
- Williams, G.L.** 1990. Suckling as a regulator of postpartum rebreeding in cattle: a review. *Journal of Animal Science* 68: 831-852.
- Wittum, T.E., Young, C.R., Stanker, L.H., Griffin, D.D., Perino, L.J., Littledike, E.T.** 1996. Haptoglobin response to clinical respiratory tract disease in feedlot cattle. *American Journal of Veterinary Research* 57: 646-649.
- Wright, I.A.** 1992. The response of spring-born suckled calves to the provision of supplementary feeding when grazing two sward heights in autumn. *Animal Production* 54: 197-202.
- Zavy, M.T., Juniewicz, P.E., Phillips, W.A., Von Tungeln, D.L.** 1992. The effect of initial restraint, weaning, and transport stress on baseline and ACTH-stimulated cortisol responses in beef calves of different genotypes. *American Journal of Veterinary Research* 53: 551-557.

