

Universitat de Lleida

TESIS DOCTORAL

**ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES
FACTORES QUE AFECTAN A LA
PRODUCTIVIDAD EN LA RAZA PARDA
DE MONTAÑA: NUEVAS PROPUESTAS
PARA EL ESQUEMA DE MEJORA
GENÉTICA**

Xavier Cortés Lacruz

Memoria presentada para optar al grado de Doctor por la Universitat de
Lleida

Programa de Doctorado en Ciencia y Tecnología Agraria y Alimentaria

Directores
Daniel Villalba Mata
Ricardo Revilla Delgado

2017



Ricardo Revilla Delgado, Doctor en Veterinaria y Daniel Villalba Mata, Doctor Ingeniero Agrónomo y Profesor Titular del Departamento de Ciència Animal de la Universitat de Lleida

CERTIFICAN:

Que la presente memoria titulada “ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN A LA PRODUCTIVIDAD EN LA RAZA PARDA DE MONTAÑA: NUEVAS PROPUESTAS PARA EL ESQUEMA DE MEJORA GENÉTICA”, elaborada por XAVIER CORTÉS LACRUZ, ha sido realizada bajo su dirección y reúne las condiciones exigidas para optar al Grado de Doctor, por lo que consideran procede su presentación.

Lleida, a 24 de abril de 2017

Los directores de Tesis,

Fdo. Ricardo Revilla Delgado

Fdo. Daniel Villalba Mata

Vull donar el meu profund agraïment a totes les persones i institucions que han contribuït, de maneres diverses, a fer que aquesta tesi doctoral sigui una realitat.

Especialment al Dani per confiar en mi, pel seu suport durant tot aquest temps i pels coneixements que com a professional i com a persona m'ha transmès.

A Ricardo, Isabel, Albi y Mireia por vuestro entusiasmo, consejos e implicación indispensable en la realización de este trabajo.

A la asociación ARAPARDA y a la finca experimental “*La Garcipollera*” por la obtención de los datos que han sido la base del trabajo.

Als companys de departament, especialment al Jesús, pel suport i pels riures al despatx.

Als amics, sobretot per ajudar-me a desconnectar.

Als meus pares, germana, padrins i a la resta de la família pel seu esforç i suport en tot moment.

I finalment a tu Gemma, per estar sempre allà i per la teva paciència.

La raza de vacuno Parda de Montaña es una raza incluida en el catálogo Oficial de Razas Ganaderas de España en el apartado de razas autóctonas de fomento desde el año 2012. Su área de explotación es muy amplia y aunque está oficialmente presente en 11 Comunidades Autónomas, los principales censos se localizan en Aragón, Cantabria y Castilla y León, ocupando preferentemente zonas de alta montaña. Desde 2012 tiene aprobado por el Ministerio de Agricultura el Programa de Mejora Genética.

El objetivo de esta tesis fue estudiar la componente genética y ambiental de los caracteres que tienen más importancia sobre la viabilidad de las explotaciones desde el punto de vista económico, en concreto el peso al destete y la facilidad de parto. Además se estudió la relación de éstos con otros caracteres de interés como la producción de leche o el peso al nacimiento, y su correlación con la productividad de las vacas a lo largo de su vida útil.

Para realizar los análisis se ha utilizado información procedente de la base de datos general de una de las Asociaciones que gestionan la mejora genética de la Parda de Montaña (ARAPARDA). El número de registros de facilidad de parto del que se dispone en la base de datos entre los años 2003 y 2012 es de 5.738, proporcionados por 228 explotaciones incluyendo hijos de 335 toros diferentes. Para analizar con más detalle las componentes que definen el carácter peso al destete se han utilizado los datos de producción de leche de 529 vacas y los pesos a diferentes edades de animales de raza Parda de Montaña procedentes de la finca experimental “La Garcipollera”, propiedad del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA), del Gobierno de Aragón. Finalmente, también se ha utilizado la información recogida en la finca experimental sobre productividad de 482 vacas entre los años 1985 y 2010 para relacionar la componente genética con la vida productiva de los animales.

A partir de esta información, en el capítulo I se ha estudiado el carácter facilidad de parto. Para ello, se ha realizado una encuesta relativa al sistema de valoración del carácter utilizado por los ganaderos en el marco del esquema de mejora de la raza bovina Parda de Montaña (Escala de 1 a 5 propuesta por la ICAR), y se han estudiado las componentes genética y ambiental del carácter mediante un modelo normal y un modelo umbral. Para obtener un avance más rápido y fiable en la mejora de este carácter, es imprescindible incrementar el número de registros y facilitar el envío de los datos de las explotaciones a la Asociación. En relación a la escala utilizada para la valoración de este carácter, sería interesante establecer una anotación diferenciada para los partos distócicos originados por una mala posición del ternero, para, posteriormente,

poder ser excluidos de las evaluaciones genéticas. Las altas correlaciones encontradas entre las estimas de la facilidad de parto procedentes del modelo normal y umbral indican que ambos son válidos para evaluar este carácter.

En el capítulo II se han analizado las componentes genética y ambiental de los caracteres peso al nacimiento, peso a los 90 días, peso al destete, peso adulto y producción de leche. Algunos efectos ambientales, como el sexo del ternero y el número de parto de la vaca se deberían incluir en los modelos de evaluación genética para obtener unas estimaciones más precisas de los efectos directos de los caracteres. Por el contrario, para mejorar la precisión de las estimas de los efectos maternos, se deberían incluir en los modelos el efecto del nivel de energía de la ración y la condición corporal al parto. Aunque la heredabilidad de los efectos genéticos maternos ha resultado ser muy baja, la correlación negativa entre los efectos directos y maternos obtenidas indicó que la selección a favor del índice combinado de efectos directos y maternos del carácter peso al destete a los 150 días generaba la mayor respuesta económica. La producción de leche explica la mitad de la variabilidad de los efectos maternos. La predicción de la producción de leche es mejor si se utiliza el peso a los 90 días que el peso a los 150 días.

En el capítulo III se ha estudiado la relación entre los efectos de manejo: época de nacimiento, tasa de madurez de la vaca en la primera cubrición, edad al primer parto, y raza, con la productividad y la longevidad de la vaca. La tasa de madurez a los 700 días presentó un efecto sobre la productividad. Mantener unas pautas correctas de manejo alimenticio durante la fase de recría, para asegurar que lleguen al primer parto con una tasa de madurez adecuada, se traduce en una mayor productividad y longevidad. Reducir la edad al primer parto de tres a dos años y medio no supone ninguna pérdida de productividad, siempre y cuando las novillas lleguen al parto con una tasa de madurez adecuada. Dentro de una concepción global de la rentabilidad económica de las explotaciones, se deberían tener en cuenta la longevidad y la productividad anual de manera conjunta, paralelamente a los criterios utilizados comúnmente y basados exclusivamente en la fertilidad anual.

Finalmente en el capítulo IV se han relacionado la longevidad y la productividad obtenida en el capítulo anterior con los valores genéticos de las vacas de los diferentes tipos genéticos establecidos. Las vacas de tipo III (tamaño grande) fueron las más productivas en kg destetados por año. Por el contrario, las vacas de tipo I (tamaño pequeño) fueron las que tuvieron menos probabilidad de ser eliminadas. Podría ser más

rentable tener en las explotaciones vacas de mayor peso adulto dentro del rango estudiado (tipo III) que desteten más kg de ternero y que, pese a su peso adulto superior, tengan unos costes de alimentación similares a los de una vaca más ligera (tipo I), aprovechando para ello la capacidad de recuperación de reservas corporales durante el pastoreo y gestionando adecuadamente la subnutrición invernal.

Palabras clave: Parda de Montaña, evaluación genética, heredabilidad, facilidad de parto, modelo umbral, peso al destete, efecto genético materno, producción de leche, productividad, longevidad.

La raça bovina Parda de Montaña és una raça inclosa en el catàleg “Oficial de Razas Ganaderas de España” en l’apartat de races autòctones de foment des de l’any 2012. La seva àrea d’exploració es molt ampla i encara que oficialment estigui present en 11 Comunitats Autònomes, els principals censos es localitzen a Aragó, Cantàbria y Castella i Lleó, ocupant preferentment zones d’alta muntanya. Des de l’any 2012 te aprovat pel “Ministerio de Agricultura” el Programa de Millora Genètica.

L’objectiu d’aquesta tesi va ser estudiar la component genètica i ambiental dels caràcters que tenen més importància sobre la viabilitat de les explotacions des del punt de vista econòmic, en concret el pes al deslletament i la facilitat de part. A més, es va estudiar la seva relació amb altres caràcters de interès com la producció de llet o el pes al naixement i la seva correlació amb la productivitat de les vaques durant la seva vida útil.

Per a la realització dels anàlisis s’ha utilitzat la informació procedent de la base de dades general d’una de les associacions que gestionen la millora genètica de la raça Parda de Montaña (ARAPARDA). El nombre de registres de facilitat de part del qual es disposa en la base de dades entre els anys 2003 i 2012 és de 5.738, proporcionats per 228 explotacions i incloent fills de 335 toros diferents. Per analitzar amb més detall els components de defineixen el caràcter pes al deslletament s’han utilitzat les dades de producció de llet de 529 vaques i els pesos a diferents edats d’animals de la raça Parda de Montaña procedents de la finca experimental “La Garcipollera”, propietat del “Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria” (CITA), del “Gobierno de Aragón”. Finalment, també s’ha utilitzat la informació recollida en la finca experimental sobre la productivitat de 482 vaques entre els anys 1985 i 2010 per a relacionar la component genètica amb la vida productiva dels animals.

A partir d’aquesta informació, en el capítol I s’ha estudiat el caràcter facilitat de part. S’ha realitzat una enquesta relativa al sistema de valoració del caràcter utilitzat pels ramaders en el marc de l’esquema de millora de la raça bovina Parda de Montaña (escala de 1 a 5 proposada per l’ICAR), i s’han estudiat les components genètica i ambiental del caràcter mitjançant un model normal y un model llindar. Per a una millora genètica més ràpida i eficaç seria recomanable promocionar el registre i enviament de dades de les explotacions a l’Associació i tenir en compte els parts distòcics originats per una mala posició del vedell a l’hora de registrar els parts, per posteriorment, poder ser exclosos de les avaluacions genètiques. Les altes correlacions trobades entre les

estimes de la facilitat de part procedents del model normal i llinar indiquen que ambdós són vàlids per avaluar aquest caràcter.

En el capítol II s'han analitzat la component genètica i ambiental dels caràcters pes al naixement, pes als 90 dies, pes al deslletament, pes adult i producció de llet. Alguns efectes ambientals, com el sexe del vedell i el número de part de al vaca, s'haurien d'incloure en els models d'avaluació genètica per a la obtenció d'unes estimes dels efectes directes dels caràcters més precises, en canvi, per a millorar la precisió de les estimes dels efectes materns s'hauria d'incloure en els models l'efecte del nivell d'energia de la ració i la condició corporal al part. Encara que la heredabilitat dels efectes genètics materns va resultar molt baixa, la correlació negativa entre els efectes directes i materns obtinguda va indicar que la selecció a favor del índex combinat d'efectes directes i materns del caràcter pes al deslletament als 150 dies generava la resposta econòmica més gran. La producció de llet explica la meitat de la variabilitat dels efectes materns. La predicció de la producció de llet es millor si s'utilitza el pes als 90 dies que el pes als 150 dies.

En el capítol III s'ha estudiat la relació entre els efectes de maneig: època de naixement, taxa de maduresa a la primera cobrició, edat al primer part i raça amb la productivitat i la longevitat de la vaca. La taxa de maduresa als 700 dies ha presentat un efecte sobre la productivitat. Mantenir unes pautes adequades de maneig alimentari durant la fase de recria es tradueix en una major productivitat i longevitat. Reduir l'edat al primer part de tres a dos anys i mig no suposa cap pèrdua de productivitat sempre i quan les futures vaques arribin al primer part amb una taxa de maduresa adequada. Dins d'una concepció global de la rendibilitat econòmica de les explotacions, s'hauria de considerar la longevitat i la productivitat anual de manera conjunta, paral·lelament als criteris utilitzats habitualment i basats exclusivament en la fertilitat anual.

Finalment, en el capítol IV, s'ha relacionat la longevitat i la productivitat obtinguda en el capítol anterior amb els valors genètics de les vaques dels diferents tipus genètics establerts. Les vaques de tipus III (mida gran) van ser les més productives en kg deslletats per any. En canvi, les vaques de tipus I (mida petita) van ser les que van tenir menys probabilitat de ser eliminades. Podria ser més rendible tenir a l'explotació vaques de un major pes adult dintre del rang estudiat (tipus III) que deslletin més kg de vedell i que, a pesar del seu pes adult superior tinguin uns costos d'alimentació similars als d'una vaca més lleugera (tipus I), aprofitant la capacitat de recuperació de les reserves corporals durant el pastoreig i gestionant adequadament la subnutrició hivernal.

Paraules clau: Parda de Montaña, avaluació genètica, heredabilitat, facilitat de part, model llindar, pes al deslletament, efecte genètic matern, producció de llet, productivitat, longevitat.

Parda de Montaña beef cattle breed is included in the Spanish Official Breeds Catalogue and classified as autochthonous since 2012. It is widespread throughout 11 Autonomous Communities, but main census are in Aragón, Cantabria and Castilla y León, preferrently at high mountain areas. Genetic Selection Programme of the breed is approved by Agricultural Ministry since 2012.

The objective of this thesis was to study the genetic and environmental components of the most important traits with important effect on economic farm viability, more precisely weaning weight and calving ease. In addition, the relation of these traits with other traits of interest as milk yield or birth weight, and its correlation with productivity during cow life has been studied.

Data used to perform the analysis comes from the general database of one of the farmers association that manage the genetic scheme of Parda de Montaña (ARAPARDA). Number of records for calving ease available at ARAPARDA from 2003 to 2012 are 5,738, produced by 228 farms and progeny of 335 different bulls. Besides, data of milk production from 529 cows and weights at different ages from Parda de Montaña animals produced at the experimental farm “La Garcipollera”, propriety of the Agrifood Research and Technology Center of Aragon (CITA), have been used to analyse deeper the weaning weight trait. Finally, productivity records produced at the experimental farm by 482 cows from 1985 to 2010 has been used to link the genetic component with animal productive life.

Using this information, chapter I studies the calving ease trait. The scoring system has been analysed using surveys to farmers involved in Parda de Montaña genetic scheme. The genetic and environmental components of the trait have been also studied using a normal and a threshold model. The recording of data from farms of the association should be promoted in order to obtain a higher genetic gain. Besides, faulty position of calf should be taken into account at the calving scoring and at the genetic evaluation. High correlation found for calving ease genetic estimations between normal and threshold models showed that both are valid to evaluate this trait.

Chapter II analyses genetic and environmental component of birth weight, weight at 90 days, weaning weight, adult weights and milk production traits. Some environmental effects as sex and parity of cows should be included in the genetic evaluation models to obtain more accurate predictions for direct genetic effects. Otherwise, to enhance the accuracy of maternal effects estimation the cow's diet level of energy and body condition at calving should be included in the model. Although maternal genetic effects

ABSTRACT

heritability resulted low, the negative correlation between maternal and direct genetic effects showed that the selection using a combined index of maternal and direct genetic values for weight at 150 days generates the higher estimated economic response. Milk production explains half the variability of maternal effects and weight at 90 days is a better predictor of milk yield of cow than weight at 150 days.

Chapter III studies the relationship between on cow productivity and longevity and some management effects like season of birth, first mating maturity rate, age at first calving, and breed. Maturity rate at 700 days has an effect on productivity. Adequate feeding management during growing of heifers to ensure a first calving with a correct maturity will be translated in a higher productivity and longevity. The reduction of age at first calving from three to two and a half years does not impair productivity while heifers reach it with an adequate maturity rate.

A holistic approach to economic profitability of sucker cow farms should include both longevity and annual productivity, combined with the criteria used normally that are based exclusively in annual fertility.

Finally, chapter IV related longevity and productivity from the previous chapter with genetic values of cows grouped in different genetic types. Type III cows (big size) were the most productive in kg weaned by year. Otherwise, type I cows (small size) were the ones with less probability to be culled. Nevertheless, it would be more profitable to use cows with higher adult weight or type III (within the range studied), with more kg of calf weaned that, despite its higher weight, and within the system of production, have a similar feeding costs than lighter cows (type I), taking advantage of the body reserves recovery during grazing and managing properly winter subnutrition.

Keywords: Parda de Montaña, genetic evaluation, heritability, calving ease, threshold model, weaning weight, maternal genetic effect, milk yield, productivity, longevity.

1	INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1	Importancia del vacuno de carne	3
1.2	Sistema de producción de vacas nodrizas	4
1.2.1	Dehesa	5
1.2.2	Cornisa Cantábrica y Galicia.....	5
1.2.3	Sistemas valle-puerto de alta montaña	6
1.3	Raza Parda de Montaña	7
1.3.1	Historia	8
1.3.2	Censos	9
1.3.3	Características raciales	10
1.3.4	Características productivas.....	11
1.4	Caracteres de interés en vaca nodriza	14
1.4.1	Facilidad de parto	14
1.4.2	Peso al nacimiento.....	15
1.4.3	Peso al destete y producción de leche	15
1.4.4	Peso adulto	16
1.4.5	Longevidad.....	17
1.4.6	Correlaciones genéticas.....	17
1.4.7	Pesos económicos.....	20
1.5	Otros Programas de Mejora Genética	21
1.6	Referencias bibliográficas.....	22
2	OBJETIVOS	33
3	CAPÍTULO I - EVALUACIÓN GENÉTICA DE LA FACILIDAD DE PARTO EN LA RAZA BOVINA PARDA DE MONTAÑA USANDO LOS MODELOS LINEAL Y UMBRAL.....	37
3.1	Introducción	40
3.2	Material y métodos	41
3.2.1	Encuestas.....	41
3.2.2	Bases de datos del Libro Genealógico	42

ÍNDICE

3.2.3	Evaluación genética con efectos directos	42
3.2.4	Evaluación genética con efectos maternos	43
3.3	Resultados	44
3.3.1	Encuestas	44
3.3.2	Análisis descriptivo de la facilidad de parto de la base de datos ARAPARDA 46	
3.3.3	Parámetros genéticos directos y maternos	49
3.4	Discusión	52
3.5	Conclusiones	57
3.6	Agradecimientos	58
3.7	Referencias bibliográficas	58
4	CAPÍTULO II - THE MILK YIELD OF DAMS AND ITS RELATION TO DIRECT AND MATERNAL GENETIC COMPONENTS OF WEANING WEIGHT IN BEEF CATTLE	63
4.1	Introduction	65
4.2	Materials and methods	67
4.2.1	Animals and management	67
4.2.2	Data collection and categorization	67
4.2.3	Statistical Analyses	68
4.3	Results and discussion	70
4.3.1	Environmental effects	70
4.3.2	Direct and maternal genetic effects.	73
4.3.3	Genetic and phenotypic correlations	75
4.4	Conclusions	78
4.5	References	79
5	CAPÍTULO III - EFECTO DEL MANEJO Y LA RAZA SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y LA LONGEVIDAD EN VACUNO DE CARNE	85
5.1	Introducción	87
5.2	Material y métodos	88

5.3	Resultados	93
5.3.1	Productividad absoluta	95
5.3.2	Análisis de supervivencia.....	97
5.3.3	Evolución de la productividad.....	100
5.4	Discusión	103
5.5	Conclusiones	109
5.6	Referencias bibliográficas.....	110
6	CAPÍTULO IV - EFECTO DEL TIPO GENÉTICO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y LA LONGEVIDAD EN LA RAZA PARDA DE MONTAÑA	115
6.1	Introducción	117
6.2	Material y métodos	117
6.3	Resultados y discusión.....	120
6.3.1	Productividad absoluta	124
6.3.2	Evolución de la productividad.....	124
6.3.3	Análisis de supervivencia.....	127
6.3.4	Costes económicos	128
6.4	Conclusiones	130
6.5	Referencias bibliográficas.....	130
7	DISCUSIÓN GENERAL	135
7.1	Situación actual de la raza Parda de Montaña	137
7.2	Actualización del programa de mejora de la raza Parda de Montaña.....	143
7.2.1	Propuestas de modelos de evaluación genética	144
7.2.2	Nuevos caracteres.....	146
7.2.3	Uso de nuevas herramientas de selección	149
7.3	Referencias bibliográficas.....	151
8	CONCLUSIONES	159

Tabla 1: Distribución del censo de vacas nodrizas en España por comunidades autónomas (MAGRAMA, 2015).....	3
Tabla 2: Distribución del censo de vacas nodrizas en España por raza (MAGRAMA, 2015).....	4
Tabla 3: Censos y número de explotaciones por comunidad autónoma de la raza Parda de Montaña (MAGRAMA, 2015).	10
Tabla 4: Heredabilidad de los efectos directos (h^2), maternos (h^2_m) y la correlación genética entre ambos efectos (r_{dm}) para los diferentes caracteres (peso al destete = PD, producción de leche = PL, facilidad de parto = FP, peso al nacimiento = PN, peso adulto = PA y longevidad = LONG).	17
Tabla 5: Información de los registros de nacimientos y controles por raza en el año 2014.	21
Tabla 6: Resultados de las encuestas.	45
Tabla 7: Porcentaje de partos según la facilidad de parto en las 14 explotaciones encuestadas.	46
Tabla 8: Peso al nacimiento según la facilidad de parto y el sexo del ternero.	48
Tabla 9: Varianza aditiva (σ^2_a), ambiental (σ^2_e) y heredabilidad (h^2) del carácter peso al nacimiento y facilidad de parto en el modelo normal y en el modelo umbral.	50
Tabla 10: Estimaciones de la heredabilidad (en la diagonal) y de las correlaciones genéticas (encima de la diagonal) para el efecto directo (d) y materno (mat) del peso al nacimiento (PN) y la facilidad de parto (FP) para los modelos normal (MNm) y umbral (MUm). .	51
Tabla 11: Comparación de los diferentes tipos de partos, peso al nacimiento, peso adulto y porcentaje de peso al nacimiento respecto al peso adulto de diferentes razas.	52
Tabla 12: Clasificación de la facilidad de parto según diversos autores.	53
Table 13: Descriptive statistics for calf birth weight (BW), weight at day 90 (W90), weaning weight (W150), cow mature weight (MW) and accumulated dam milk yield at 150 days (MY150).....	68
Table 14: Fixed effects estimates and standard error in parentheses for birth weight (BW), weight at 90 days (W90), weaning weight (W150) and mature weight (MW)...	71
Table 15: Fixed effects estimates and standard error in parentheses for milk yield at 150 days (MY150).....	71
Table 16: Parameter estimates and standard error in parentheses for calf birth weight (BW), weight at 90 days (W90), weaning weight (W150), cow mature weight (MW) and dam milk yield at 150 days (MY150).....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Table 17: Direct genetic correlations (above diagonal) and residual correlations (below diagonal) with standard error in parentheses for birth weight (BW), weight at 90 days (W90), weaning weight (W150), milk yield at 150 days (MY150), mature weight (MW), maternal weight at 90 days (W90 _m) and maternal weaning weight (W150 _m)....	75
Table 18: Correlated response expected (per unit of selection intensity) after selection based on own records with different selection criteria.	77
Tabla 19: Tasa de madurez categorizada a los 700 días de vida en porcentaje de su peso adulto por raza.	89
Tabla 20: Número de vacas y porcentajes (sobre el total de fila en cursiva y de columna) para los niveles de los efectos (vacas con baja registrada en el momento de cierre de la base de datos).	90
Tabla 21: Número de partos registrados en diferentes rangos de edad y en función del efecto estudiado (tasa de madurez a los 700 días, edad al primer parto, raza y época de nacimiento).	92
Tabla 22: Medias y error estándar de los niveles de los efectos para la tasa de madurez a los 700 días, edad al primer parto, ganancia media diaria hasta los 700 días, peso a los 700 días y peso adulto.	94
Tabla 23: Medias mínimo cuadráticas y error estándar de los niveles de los efectos para el número de terneros nacidos vivos y destetados, kg de ternero destetados totales y por año de vida, edad a la baja y el intervalo entre partos.	96
Tabla 24: Estimaciones del análisis de supervivencia, riesgo relativo, y significación entre los niveles de los efectos.	97
Tabla 25: Evolución del peso real observado en vacas de los tres niveles de tasa de madurez (media ¹ , error estándar (ee) y número de vacas (n)).	105
Tabla 26: Correlaciones entre los valores genéticos de los diferentes caracteres.	121
Tabla 27: Valores genéticos medios y error estándar (ee) en función de la tasa de madurez a los 700 días, la edad al primer parto y la época nacimiento.	121
Tabla 28: Número óptimo de conglomerados mediante el criterio Cubic clustering criterion (CCC).	122
Tabla 29: Medias y error standard (ee) de las variables de los valores genéticos según el tipo genético (conglomerado).	123
Tabla 30: Medias y error estándar (ee) de los tipos genéticos para la tasa de madurez a los 700 días, edad al primer parto, ganancia media diaria hasta los 700 días, peso a los 700 días y peso adulto.	123

Tabla 31: Medias mínimo cuadráticas y error estándar (ee) de los tipos genéticos para el número de terneros nacidos vivos y destetados, kg de ternero destetados totales y por año de vida, edad a la baja y el intervalo entre partos.	125
Tabla 32: Estimaciones del riesgo relativo, y significación entre los niveles de los efectos.	128
Tabla 33: Comparación de ingresos por kg destetados y costes de alimentación entre las vacas de tipo genético I y III.	129
Tabla 34: Comparativa del censo de vacas nodrizas en Aragón de las razas Parda de Montaña y Limusina.	138
Tabla 35: Comparación entre razas del rendimiento canal, de la ganancia media diaria en engorde y del peso al sacrificio.....	140

Figura 1: Provincias con presencia de animales de la raza Parda de Montaña (MAGRAMA 2015).	9
Figura 2: Distribución de partos tipo 4 (asistencia veterinaria) y 5 (cesárea) en función del número de parto de la madre.	47
Figura 3: Porcentaje de partos distribuidos por la dificultad según la edad al parto1 de las primíparas. 1 Sin ayuda: 1; Asistido sin dificultad: 2; Asistido con dificultad: 3; Con asistencia veterinaria: 4; Cesárea: 5.....	47
Figura 4: Correlación entre el valor genético directo para la facilidad de parto del modelo normal (VG_FPd_MN) y del modelo umbral (VG_FPd_MU).....	49
Figura 5: Correlación entre el valor genético directo del modelo normal (VG_FPd_MN) y el valor genético directo del modelo umbral con efectos maternos (VG_FPd_MUm) para la facilidad de parto.	50
Figura 6: Correlación entre el valor genético directo del modelo normal (VG_FPd_MN) y el valor genético directo del modelo normal con efectos maternos (VG_FPd_MNm) para la facilidad de parto.	51
Figure 7: Accumulated milk yield during lactation (MY150) according to dietary energy intake and body condition score (BCS) at calving.	73
Figura 8: Evolución en el tiempo de la probabilidad de que una vaca permanezca viva en el rebaño para cada nivel del efecto tasa de madurez a los 700 días de vida.	98
Figura 9: Evolución en el tiempo de la probabilidad de que una vaca permanezca viva en el rebaño para cada nivel del efecto edad al primer parto.	98
Figura 10: Evolución en el tiempo de la probabilidad de que una vaca permanezca viva en el rebaño para cada nivel del efecto raza.	99
Figura 11: Evolución en el tiempo de la probabilidad de que una vaca permanezca viva en el rebaño para cada nivel del efecto época de nacimiento.....	99
Figura 12: Número de terneros destetados por año de vida de la vaca según la tasa de madurez (a), edad al primer parto (b), la raza (c) y la época de nacimiento (d).....	101
Figura 13: Peso al destete en kg por año de vida de la vaca según la tasa de madurez (a), edad al primer parto (b), la raza (c) y la época de nacimiento (d).....	102
Figura 14: Número de terneros nacidos vivos (a), destetados (b), kg de ternero destetados en valor absoluto (c) y por año de vida (d) en función de la edad de la vaca por tipo genético. Dentro de cada variable y edad vaca el símbolo * denota un efecto significativo ($P < 0,05$) y t denota una tendencia ($P < 0,10$) del tipo genético.	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 15: Evolución en el tiempo de la probabilidad de que una vaca permanezca viva en el rebaño para cada conglomerado.....	127
Figura 16: Distribución de edad al primer parto de las vacas de ARAPARDA nacidas a partir del 2010.....	143
Figura 17: Distribución del intervalo entre partos de las vacas de ARAPARDA nacidas a partir del 2010.....	147
Figura 18: Vista craneal de la abertura pélvica: producto de la altura sacro-púbica (A-B) y de la anchura entre ilios (C-D). Guerrier et al. (2012).	149

BCS: body condition score
BLUP: Best Linear Unbiased Prediction
BW: birth weight
CCC: Cubic Clustering Criterion
CE: crecimiento en engorde
ee: error estándar
FP: facilidad de parto
 h^2 : heredabilidad de los efectos directos
 h^2_m : heredabilidad de los efectos maternos
IP: intervalo entre partos
LONG: longevidad
MNm: modelo normal con efectos maternos
MS: materia seca
MUm: modelo umbral con efectos maternos
MW: mature weight
MY150: accumulated dam milk yield at 150 days
n: número de animales
PM: Parda de Montaña
PN: peso al nacimiento
PD: peso al destete
PA: peso adulto
PL: producción de leche
PV: peso vivo
 r_{dm} : correlación genética entre ambos efectos
 r_g : genetic correlation
SNP: Single nucleotide polymorphism
UE-28: Unión Europea
W90: weight at day 90
W90_m: maternal weight at day 90
W150: weaning weight
W150_m: maternal weaning weight
 σ^2_a : varianza aditiva
 σ^2_e : varianza ambiental

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Importancia del vacuno de carne

El sector vacuno de carne en España, dentro de las producciones ganaderas, es el tercero en importancia económica, por detrás del sector porcino y del sector lácteo, representando aproximadamente el 15% de la producción final ganadera. Este sector se constituye de dos subsectores, el cebo de terneros y las vacas nodrizas, con localización y métodos de producción claramente diferenciados entre sí (MAGRAMA, 2015).

Tabla 1: Distribución del censo de vacas nodrizas en España por comunidades autónomas (MAGRAMA, 2015).

Comunidad Autónoma	Censo vacas nodrizas (%)	
	Año 2011	Año 2014
Castilla y León	26,11	26,54
Extremadura	20,11	20,85
Andalucía	11,66	10,97
Galicia	10,99	10,63
Asturias	7,25	7,34
Castilla La Mancha	5,06	4,96
Cantabria	4,61	4,71
Cataluña	3,70	3,71
País Vasco	2,87	2,72
Aragón	2,18	2,28
Resto	5,46	5,29

El consumo per cápita en la Unión Europea (UE-28) en 2014 fue de 19,5 kg/año, cifra muy superior a la registrada en España para el mismo período (12,7 kg/año). Por otro lado, el censo nacional de vacuno está estabilizado en torno a los 6 millones de cabezas, representando un 6,9% del censo total de la UE-28 y siendo el quinto país en importancia por detrás de Francia (21,8%), Alemania (14,4%), Reino Unido (11%) e Irlanda (7,1%) (MAGRAMA, 2015).

El censo de vacas nodrizas en España es de 1,8 millones de cabezas, ocupando el segundo lugar en la UE-28 con un 14,6% del censo total por detrás de Francia (33,7%). Cómo se puede observar en la Tabla 1, prácticamente la mitad del censo nacional se encuentra entre Castilla y León y Extremadura. La raza pura más utilizada en España como vaca nodriza es la Limusina seguida de la Asturiana de los Valles (Tabla 2). En octavo lugar con un 2,01% (36.317 cabezas) del censo total se encuentra la raza Parda de Montaña.

Tabla 2: Distribución del censo de vacas nodrizas en España por raza (MAGRAMA, 2015).

Raza	Censo vacas nodrizas (%)	
	Año 2011	Año 2014
Limusina	8,97	9,79
Asturiana de los Valles	6,64	6,53
Lidia	5,58	4,66
Rubia Gallega	4,70	4,39
Avileña-Negra Ibérica	2,78	2,95
Retinta	3,24	2,88
Charolesa	2,91	2,69
Parda de Montaña	1,75	2,01
Pirenaica	1,69	1,77
Conjunto mestizo	53,39	50,83
Resto	8,35	7,24

1.2 Sistema de producción de vacas nodrizas

Las explotaciones de vacas nodrizas juegan, en España, un importante papel medioambiental y social; localizadas en áreas con predominio de recursos pastables de cantidad y calidad variable según la climatología (Rodrigues et al., 2014) y con notables limitaciones para el asentamiento de actividades agrícolas competitivas, las explotaciones de vacas nodrizas contribuyen al mantenimiento del medio ambiente y del paisaje, fijando una población imprescindible para el desarrollo rural de estas zonas y

permitiendo la instalación de otras actividades, como el turismo. La producción de vacas nodrizas en España se centra, principalmente, en tres grandes áreas agroclimáticamente muy diferenciadas: la Dehesa, La Cornisa Cantábrica y Galicia y las zonas de alta montaña (Adámez, 2009).

1.2.1 Dehesa

La Dehesa constituye uno de los ecosistemas más característicos de la Península Ibérica y, en España, ocupa extensas áreas de Castilla León, Extremadura, Andalucía y Castilla la Mancha. Ocupando áreas de suelos ácidos y de escasa productividad agrícola, la Dehesa se caracteriza por la amplitud de sus pastos asociados a la presencia de arbolado y por un importante tamaño medio de sus explotaciones.

La producción herbácea se extiende desde la primavera hasta el invierno, con una importante parada estival vinculada a la ausencia de precipitaciones. La producción máxima se centra en la primavera, estando condicionado el rebrote otoñal a la presencia de lluvias. Durante el otoño, la producción de bellotas supone un importante recurso alimenticio, al igual que los pastos no consumidos durante la primavera y el verano, de escasa calidad y digestibilidad. En estas condiciones, los partos suelen agruparse en primavera, destetándose los terneros durante la parada estival de la vegetación. (Bellido et al., 2001).

1.2.2 Cornisa Cantábrica y Galicia

Ocupando las áreas de mayor pluviometría de España, presentan un perfil de media-baja montaña, sin altitudes elevadas pero, en ocasiones, con desniveles importantes que limitan el desarrollo de actividades agrarias, salvo la producción de pastos. Generalmente, se trata de explotaciones familiares y de tamaño pequeño o medio. En estas zonas hay excelentes prados, que pueden alcanzar altas producciones debidamente abonados y praderas y cultivos forrajeros, tanto anuales como plurianuales, con elevados rendimientos.

Las mayores producciones se concentran durante la primavera y, en función de la orografía favorable, es posible la realización de ensilados de alta calidad. Durante el verano puede existir una importante parada vegetativa. En el invierno, de corta duración, los prados y las praderas permanecen improproductivas, aunque es posible el aprovechamiento pastoral de las zonas boscosas o invadidas por el matorral (Osoro, 1995).

1.2.3 Sistemas valle-puerto de alta montaña

Ocupando las zonas de mayor altitud de los grandes macizos montañosos españoles, estas zonas constituyen un gran espacio ganadero, disperso geográficamente, pero con enormes similitudes en los sistemas ganaderos practicados, reflejo de las condiciones que impone el medio y basados en la existencia de tres espacios pastorales claramente diferenciados por su altitud, características botánicas e, inclusive, por su régimen de propiedad (Revilla, 1987; Manrique et al., 1992): los fondos de valle están ocupados por prados o praderas, de propiedad privada y utilizados, principalmente, para la obtención de forrajes conservados para el invierno.

Las zonas de mayor altitud, o “puertos”, constituyen el espacio pastoral de utilización estival, formado por comunidades vegetales muy diversas en función de su altitud, pendiente, sustrato y orientación (Ferrer et al., 2001). Son, generalmente, de propiedad estatal o municipal y su aprovechamiento suele ser común para todos los ganaderos de la zona. Entre ambos territorios, se localizan las llamadas “zonas intermedias”, compuestas por bosques, antiguos campos de cultivo abandonados y zonas de matorral, utilizadas a diente tanto en primavera como en otoño.

Los rebaños realizan su ciclo anual de producción utilizando, de manera escalonada y secuencial, estas superficies, para finalizar estabulados durante los meses más rigurosos del invierno, consumiendo los forrajes conservados producidos durante la primavera y el otoño. En zonas de menor altitud o inviernos menos rigurosos, los rebaños pueden pasar el invierno utilizando zonas boscosas y recibiendo una suplementación en el propio monte. Pese a las notables diferencias existentes entre estas tres zonas, descritas sucintamente con anterioridad, la producción de vacas nodrizas en España presenta unas características comunes y diferenciadas de la practicada en otras zonas de Europa, con las que debe competir.

Hasta en las mejores condiciones agroclimáticas posibles, la limitada producción de pastos y forrajes, tanto en cantidad y calidad como en duración a lo largo del año obliga, desde un punto de vista del manejo del ganado, a gestionar adecuadamente los procesos de acumulación y utilización de las reservas corporales de los animales a lo largo del ciclo productivo para asegurar una producción “sostenible”, caracterizada por la obtención de un ternero por vaca y año. Salvo en algunas zonas de la Cornisa Cantábrica, la estación de pastoreo no permite cubrir la totalidad de necesidades energéticas de las vacas (lactación, gestación, acúmulo de reservas, crecimiento) cuando

éstas se agrupan en un corto período de tiempo. Contrariamente a lo que sucede en otras zonas de producción bovina europeas, es en ocasiones necesario centrar la época de partos no en el momento de máxima producción de hierba, si no al final de la estación de pastoreo, disociando en el tiempo las principales necesidades energéticas de las vacas: durante la primavera y el verano, el pastoreo debe asegurar la recuperación de reservas corporales y el final de la gestación, para utilizar posteriormente estas reservas, durante el invierno, para la producción de leche y la recuperación de la actividad ovárica postparto (D'Hour et al., 1998; Casasús et al., 2002). En estas condiciones, el tipo animal elegido para la producción juega un importante papel y no solo en lo referente a las pautas de manejo a seguir para conseguir la máxima productividad, o una producción sostenible desde el punto de vista económico, sino también a la hora de reflexionar sobre los aspectos que deben ser tenidos en cuenta a la hora de establecer los programas de mejora genética: ¿hasta qué punto es interesante centrarse exclusivamente en la mejora del peso al destete?, ¿Qué papel juega el tamaño de la vaca en su productividad a corto y largo plazo?, ¿Qué importancia tiene la producción lechera en una vaca nodriza?, ¿Juega la raza un papel determinante en los resultados económicos a largo plazo de la explotación?.

1.3 Raza Parda de Montaña

La Raza Parda de Montaña es una raza de reciente reconocimiento oficial en España, pese a que su historia en nuestro país es ya larga, si bien con otro nombre, Parda Alpina y con características productivas y hasta morfológicas diferentes. En 2002 se reconocía que los animales explotados en amplias zonas de la montaña presentaban unas características alejadas de los animales explotados desde hacía más de un siglo, y bajo el nombre de Parda de Montaña se incluía en el Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España. Posteriormente, en 2004, se publicó la Reglamentación Específica del Libro Genealógico de la raza, aprobándose el prototipo racial e iniciándose el proceso de apertura del Registro Fundacional. En el año 2012 se aprueba el programa de mejora genética de la raza. En el 2011 la Comisión Nacional de Coordinación informó favorablemente sobre la modificación de la clasificación de la raza Parda de Montaña, pasándose a considerar en el 2012 como raza autóctona de fomento. Esta decisión supuso el reconocimiento de una realidad indiscutible y otorgaba a la raza Parda de Montaña la categoría de “raza originada” en España.

En la actualidad existen dos entidades reconocidas oficialmente para la gestión del Libro Genealógico de la raza y para el desarrollo de su Programa de Mejora Genética: la Asociación de Criadores de Raza Bovina Parda de Montaña, (ARAPARDA), constituida en 2001 y la Federación Nacional de Asociaciones de Criadores de Raza Bovina Parda de Montaña, (FERPAM), constituida en 2002.

1.3.1 Historia

La raza Parda Alpina, explotada originalmente como raza mixta, fue importada a partir de finales del siglo XIX y principios del XX con el objetivo de mejorar la producción lechera de las razas locales. Paralelamente, a principios del siglo XX, la raza es exportada a los Estados Unidos, donde es conocida como Brown Swiss y sometida a un intenso programa de mejora genética orientado hacia el incremento de la producción lechera. Desde su introducción, la raza Parda Alpina, ha pasado por tres períodos de evolución calificados por FEAGAS (Federación Española de Asociaciones de Ganado Selecto) como de implantación y afianzamiento; expansión y reforzamiento; y transformación y crisis. Estos procesos han estado muy vinculados a la evolución morfo-productiva de la raza a nivel mundial y a la evolución socio-económica del sector agrario.

Durante la fase de implantación y afianzamiento, la raza Parda Alpina, absorbió numerosas poblaciones locales tanto en España como en otros países. La existencia de animales con mayores niveles de producción lechera y la generalización de determinadas técnicas, como la congelación de semen y la inseminación artificial o la transferencia de embriones posteriormente, facilitaron el proceso de difusión de las estirpes de origen estadounidense (fase de expansión y reforzamiento). La especialización lechera de la Parda Alpina supuso el inicio de la fase de transformación y crisis de la raza en España, al ser incapaz de competir en producciones con la raza Holstein.

Entre 1990 y 1999 se produjo en España una reconversión de los rebaños lecheros de raza Parda en rebaños de vacas nodrizas. Los ganaderos se encontraron ante una situación complicada: explotaban una raza que a nivel nacional y mundial evolucionaba genéticamente hacia mayores producciones de leche, pero debían reconvertir su explotación hacia producciones de carne en busca de una buena conformación y un elevado ritmo de crecimiento durante la fase de cebo.

Tabla 3: Censos y número de explotaciones por comunidad autónoma de la raza Parda de Montaña (MAGRAMA, 2015).

Comunidad autónoma	Total reproductores		Total animales		Total	Nº ganaderías
	Hembras	Machos	Hembras	Machos		
Aragón	24.965	5.784	28.165	8.653	36.818	408
Cantabria	6.911	123	8.716	415	9.131	175
Castilla La Mancha	9	0	9	0	9	1
Castilla León	2.914	783	5.056	1.755	6.811	95
Extremadura	50	0	110	5	115	2
Galicia	2	1	14	2	16	1
La Rioja	31	0	71	2	73	2
Madrid	120	5	174	11	185	6
Navarra	93	1	128	3	131	2
País Vasco	72	1	80	2	82	1
Principado Asturias	1.150	240	1.626	512	2.138	74
Totales	36.317	6.938	44.149	11.360	55.509	767

1.3.3 Características raciales

El estándar de la raza bovina Parda de Montaña presenta en su conjunto las siguientes características (<http://www.pardademontana.com>):

Cabeza: De tamaño medio, proporcionada, expresiva y con perfil fronto-nasal recto. Orejas horizontales, grandes y con abundante pilosidad blanca en su cara interior. Cuernos de sección circular, blancos con el extremo negro.

Cuello: Cuello fuerte, de mediana longitud y musculado, más compacto en los machos.

Tronco: Cruz de longitud y anchura media, poco destacada y redondeada, más marcada en los machos. Espalda larga, ancha, musculada y oblicua. Dorso y lomo rectos, anchos y en línea con la grupa. Pecho amplio, mucho más potente en los machos, y con poca papada. Tórax amplio y profundo, con costillares bien arqueados. Vientre voluminoso en las hembras, siendo en los toros más recogido.

Grupa, nalgas, muslos y nacimiento de la cola: Grupa de gran desarrollo, ancha, ligeramente inclinada. Nacimiento de la cola en línea con la grupa, corto y fino. Muslos desarrollados y musculosos, más voluminosos y convexos en los toros. Nalgas musculosas, llenas y descendidas, tendiendo a la convexidad.

Capa, piel y pelo: La capa es de color pardo uniforme, presentado degradaciones en zona inguinal cara interna de las extremidades y orla blanca entorno al morro. Ambos sexos pueden presentar degradación a lo largo de la línea dorso lumbar, más acentuado en los machos. El color pardo oscila desde el claro al oscuro discreto, aunque con preferencia hacia capa claras. Los machos suelen ser más oscuros. Pezuñas y mucosas negras, aunque presenta testículos, ubre y borde externo de la zona vulvo-anal despigmentadas. Piel robusta y elástica. Pelo fino y denso. Pueden presentarse animales algo rizados. Al nacimiento, el ternero presenta coloración blanquecina o rubia clara.

Extremidades: De longitud media, fuertes y con buenos aplomos, aptos para desenvolverse en terrenos abruptos. Cañas medias y pezuñas duras, simétricas y proporcionadas.

Aspecto del conjunto: De formato medio, con tendencia a grande, perfil recto y proporciones longilíneas. Presentan capa uniforme de color pardo, aspecto armónico, tronco ancho y profundo y buen desarrollo muscular.

1.3.4 Características productivas

Como ya se ha comentado anteriormente, la raza Parda de Montaña, pese a su ya larga trayectoria en España, es una raza de reciente reconocimiento y, por lo tanto, la información disponible sobre sus características productivas presenta importantes sesgos, ante la escasez o limitaciones de la información disponible en su Libro Genealógico y de los resultados obtenidos del Programa de Mejora Genética. La mayoría de la información disponible hasta el momento proviene de núcleos muy limitados (principalmente del Pirineo de Huesca y de la Montaña Leonesa) y que, al margen de ofrecer algunos datos que pueden ser considerados como “concluyentes”, muestra la gran variabilidad en los resultados productivos, fruto, por otra parte, de la estrecha relación existente entre la raza en sí, el medio donde se explota y las técnicas productivas seguidas por los ganaderos. Fue precisamente esta variabilidad la que impulsó la realización de un Proyecto de Investigación de financiación nacional (INIA RZ2006-0007-C03), de cuyos resultados se han extraído algunos de los datos que aquí se presentan.

La raza parda de Montaña es una raza de tamaño medio-grande, dependiendo de sus condiciones de explotación; las hembras presentan un peso adulto medio de 570 kg y 750 kg en el caso de los machos. Presenta una excelente capacidad maternal y una buena producción lechera, superior a los 8 litros por vaca y día en los cinco primeros meses de lactación (Cortés et al., 2015). Fruto de su pasado de explotación como vaca mixta estabulada durante amplios períodos de tiempo, es una raza dócil y de fácil manejo.

Presenta una marcada precocidad sexual en comparación con otras razas explotadas en España, con una edad media a la pubertad cercana a los 12 meses de edad o al alcanzar los 300 kg de peso vivo (Olleta et al., 1991; Rodríguez-Sánchez, 2016), lo que permite obtener el primer parto a edades cercanas a los 24 -30 meses de edad sin problemas posteriores. Desde el punto de vista reproductivo, la raza se caracteriza por lo reducido de su anestro post-parto, siempre que se respeten determinadas condiciones de nutrición preparto, por la ausencia de estacionalidad reproductiva y por la escasa interferencia de la cría del ternero sobre la reactivación ovárica (Blasco, 1991; San Juan, 1993; Sanz, 2000).

Presenta una elevada capacidad de ingestión de forrajes, inclusive si la calidad de los mismos es mediocre o baja (Casasús, 1998), lo que le permite adaptarse a las condiciones más duras del pastoreo en zonas difíciles. El peso de los terneros al nacimiento es de 40,4 kg para las hembras y 43,2 kg para los machos, con unos elevados crecimientos durante la lactancia (0,844 kg para las hembras y 0,946 kg para los machos, Villalba et al., 2000). Como ocurre en otras razas cárnicas europeas (Miranda et al., 2001) la raza presenta la variante del gen de la miostatina (culón). En concreto, en los 700 animales genotipados en la base de datos de ARAPARDA la frecuencia del alelo culón es del 18%.

Desde el punto de vista de las aptitudes de la raza para la producción de carne, los numerosos trabajos realizados al respecto muestran la “plasticidad” de la Parda de Montaña para adaptarse a la producción de diversos tipos comerciales, desde la ternera lactante, a la producción de bueyes con un alto valor añadido, con unas ganancias de peso competitivas con otras razas especializadas y con características de la canal y la carne satisfactorias y adaptadas a los gustos del consumidor nacional (Cerdeño et al., 2001; Cerdeño et al., 2006). Recientemente se ha reseñado la presencia en la raza de un alelo del gen de la calpastatina (Calvo et al., 2014) asociado con la terneza de la carne y directamente relacionado con la calidad de la carne.

Los centros cualificados de genética en los que se toman decisiones de selección y responsables de gestionar el Programa de Mejora son el Departamento de Ciencia Animal de la Universidad de Lleida, y el Departamento de Producción Animal de la Universidad de León.

Los centros de reproducción donde se obtiene, se almacena el material seminal de los ejemplares machos de la raza y se realizan las pruebas de valoración individual están ubicados en los CENSYRAS de Movera (Zaragoza), de Torrelavega (Cantabria) y Villaquilambre (León). Así mismo, se dispone del Centro de recría y testaje de la Federación de razas cárnicas de Cantabria, sito en Galizano, Ribamontan al Mar (Cantabria), como centro de recría de hembras, actividad que también se lleva a cabo en el CENSYRA de Movera (Zaragoza). A día de hoy el número de ganaderías participantes en el Programa de Mejora Genética está en torno a las 775 (MAGRAMA, 2017).

Los objetivos del Programa de Mejora Genética son optimizar e incrementar la rentabilidad y la competitividad económica de la raza Parda de Montaña como productora de carne de calidad, por lo que se debe conseguir animales que produzcan un ternero al año, de buena conformación cárnica, que alcancen parámetros de calidad de la carne conforme a la diferente demanda del mercado, y que los reproductores de esta raza alcancen una elevada longevidad funcional.

Los criterios de selección que se plantean son los siguientes:

- Peso al nacimiento.
- Facilidad de parto.
- Peso al destete.
- Peso al sacrificio.
- Conformación: clasificación SEUROP.
- Engrasamiento de la canal: clasificación 1-5.
- Calidad de la carne: % de grasa intramuscular y ternura.
- Intervalo entre partos.
- Longevidad funcional.

El programa de mejora genética se divide en tres fases:

- 1.- Recogida de información en las explotaciones y control de rendimientos en campo.
- 2.- Centros de selección de sementales.

Se utiliza como criterio de selección de los candidatos las valoraciones genéticas de sus padres y la información fenotípica del rendimiento reproductivo de sus madres.

3.- Sistema de evaluación genética.

La evaluación genética se realiza mediante la metodología del modelo mixto con estimas del valor genético (BLUP). La metodología del modelo mixto permite incorporar toda la información de parentesco de los animales del libro genealógico en la matriz de parentesco, lo que permite utilizar toda la información disponible en la evaluación genética de los animales. Para todos los caracteres (peso al nacimiento, peso al destete y facilidad de parto) se utiliza un modelo lineal.

1.4 Caracteres de interés en vaca nodriza

Para poder alcanzar los objetivos de selección planteados en el Programa de Mejora es necesario conocer la componente genética y las correlaciones entre los caracteres.

1.4.1 Facilidad de parto

La facilidad de parto es un carácter cuantitativo que se divide en distintas categorías. El International Committee for Animal Recording (ICAR, 2014) propone el siguiente método de anotación de la facilidad de parto: 1. parto fácil sin asistencia, 2. parto fácil con poca ayuda, 3. parto difícil (asistencia mecánica o asistencia de 2 o más personas), 4. cesárea y 5. embriotomía.

Los principales interesados en mejorar la facilidad de parto son los productores de terneros, sobre todo en los sistemas extensivos dónde un elevado porcentaje de partos difíciles puede originar importantes pérdidas económicas, tanto en gastos y cuidados veterinarios (Kluyts et al., 2007) como en la menor productividad en el futuro de las vacas afectadas ya que los partos difíciles incrementan la mortalidad de los terneros (Wulforth et al., 2010; Cervantes et al., 2010) pudiendo también poner en riesgo la supervivencia de la vaca (Barrier et al., 2012).

Los principales factores no genéticos que afectan a la facilidad de parto son el orden de parto, con mayor número de partos distócicos en las vacas de primer parto (Meijering et al., 1984; Rice et al., 1994), y la edad al primer parto con partos más problemáticos en las vacas que paren por primera vez antes de los tres años de edad (Bene et al., 2013). Por otro lado, existen factores genéticos y ambientales que pueden producir distocias (tamaño del feto, posición, existencia de más de un feto, insuficiente abertura del canal pélvico...), por lo tanto el carácter facilidad de parto puede estar controlado y ser la combinación de otros caracteres, como el peso al nacimiento y la abertura pélvica.

Autores como Cook et al. (1993) afirman que seleccionar a favor de su incremento disminuye los partos distócicos.

Existe una gran variabilidad en las estimas de la heredabilidad (h^2) de la facilidad de parto encontradas en la bibliografía, desde 0,04 (Jamrozik y Miller, 2014) hasta 0,41 (Bennett y Gregory, 2001) y desde 0,08 (Varona et al., 1999) hasta 0,23 (Bennett y Gregory, 2001) para las estimas de heredabilidad del efecto materno (h^2_m).

1.4.2 Peso al nacimiento

Una de las variables más importantes que influye sobre la facilidad de parto es el peso al nacimiento ya que existe una elevada correlación genética (0,60) entre peso al nacimiento y el porcentaje de partos distócicos (Gutiérrez et al., 2007). Por otro lado, Johanson et al. (2011) afirman que incluir el peso al nacimiento en el modelo para evaluar la facilidad de parto mejora la precisión de la predicción de los valores genéticos. Por lo tanto seleccionar a favor de la reducción del peso al nacimiento reducirá el número de partos difíciles disminuyendo los gastos tanto directos como indirectos asociados a este tipo de partos. El rango de estimas de h^2 encontrado en la bibliografía es desde 0,30 (Fina et al., 2013) hasta 0,46 (Mujibi y Crews, 2009).

1.4.3 Peso al destete y producción de leche

En el sistema de producción de vacuno de carne de la raza Parda de Montaña las lactaciones de las vacas tienen una duración entre 5 y 7 meses, momento en que se desteta el ternero. El peso del ternero en ese momento tiene mucha importancia desde el punto de vista económico para las explotaciones ya que es la principal fuente de ingresos (Åby et al., 2012; López-Paredes y Alenda, 2015), pese a que, en nuestras condiciones de comercialización, no se suele establecer el precio en función de este parámetro fácilmente objetivable, recurriéndose a otros, de dudosa objetividad, como “las formas”. El peso al destete está altamente correlacionado con la producción de leche de la madre (Mc Hugh et al., 2014) pero no son el mismo carácter. La producción de leche a lo largo de la lactación depende del potencial genético de la vaca y de cómo le afecta el ambiente.

En una primera aproximación a la relación peso destete y carácter materno en la raza Parda de Montaña, se realizó un estudio sobre la producción de leche a lo largo de los cinco primeros meses de la lactación (Cortés et al., 2015). En este trabajo se analizó cómo puede afectar el ambiente (alimentación, época de parto, sexo del ternero, etc.) a

la producción de leche en los diferentes meses de la lactación, la componente genética de la producción de leche mensual y la correlación entre los diferentes meses de la lactación. Las elevadas correlaciones genéticas encontradas ($>0,79$) entre los meses de lactación y su componente genética parecida (heredabilidad entre 0,19 y 0,40) indicaron que, aunque los efectos ambientales pueden afectar de distinta manera en algún momento concreto de la lactación, la producción de leche acumulada en los primeros cinco o seis meses de lactación se puede tratar como un solo carácter.

Las heredabilidades (h^2) para la producción de leche en vacuno de carne encontradas en la bibliografía están situadas en un rango entre 0,12 (Meyer et al., 1994) hasta 0,35 (Miller y Wilton, 1999), mientras que para el peso al destete están entre 0,21 (Quintanilla et al., 1999) y 0,45 (Gutiérrez et al., 2007). La componente genética materna (h^2_m) para el peso al destete en la bibliografía se encuentra en el rango entre 0,10 (Quintanilla et al., 1999) y 0,24 (Miller y Wilton, 1999). La correlación genética entre el efecto directo de la producción de leche y el efecto genético materno del peso al destete es elevada y positiva (0,76, Miller y Wilton, 1999), lo que indica que la h^2_m para el peso al destete puede ser de utilidad para predecir el potencial de producción de leche de las vacas.

1.4.4 *Peso adulto*

La selección a favor del incremento del peso al destete y de la ganancia media diaria desde el nacimiento hasta el destete comporta un aumento del peso adulto de las vacas, aspecto por lo menos cuestionable en los sistemas de producción basados exclusivamente en pastoreo (Boligon et al., 2011). Esta situación debería ser tomada en cuenta en los programas de mejora ya que un mayor peso adulto puede estar ligado a unos mayores costes de alimentación (Jenkins y Ferrell, 1994). Además, hembras muy pesadas pueden ser menos eficientes en términos de rendimiento fisiológico y reproductivo (Montano-Bermúdez et al., 1990; Owens et al. 1993), aspectos estos últimos que deben ser más estudiados en el futuro.

El peso adulto conjuntamente con el peso al nacimiento y la abertura pélvica puede influir en la facilidad de parto, Naazie et al. (1990) afirman que la variable más importante que influye sobre la facilidad de parto es el peso al nacimiento del ternero en relación al peso adulto de la vaca. Los problemas de parto en las razas con un elevado peso adulto pueden estar causados por una incompatibilidad fetal-pélvica causada por el tamaño del ternero, explicado por el peso al nacimiento, y una abertura pélvica reducida

(Gutiérrez et al., 2010). Las estimas de h^2 encontradas en la bibliografía para el peso adulto coinciden en torno al 0,45 (ver Tabla 4).

1.4.5 Longevidad

La longevidad considerada como la presencia continuada de las vacas en el rebaño, es un carácter importante desde el punto de vista económico ya que se relaciona directamente con la eficiencia productiva de las explotaciones (Van Melis et al., 2007). Las vacas deben permanecer en la explotación, como mínimo, hasta que se hayan amortizado los costes de cría y mantenimiento (Formigoni et al., 2002; Mwansa et al., 2002). En general, la longevidad se puede analizar como un carácter categórico, a partir del número de partos a una cierta edad o como un carácter continuo, a partir de la edad al último parto (Caetano et al., 2013).

Las estimas de h^2 para la longevidad encontradas en la bibliografía son variables, los resultados obtenidos por Van Melis et al. (2007) se sitúan en la media de los valores de h^2 para el carácter (0,25) mientras que Jamrozik et al. (2013) observaron un descenso de h^2 en el tiempo, desde una h^2 de 0,35 para la longevidad en el segundo parto hasta un 0,13 para la longevidad en el octavo parto.

1.4.6 Correlaciones genéticas

En cuanto a las correlaciones genéticas entre caracteres, se ha encontrado en la bibliografía correlaciones positivas entre el peso al destete y el peso al nacimiento (Bolígon et al., 2011; Chud et al., 2014; Vergara-Garay et al., 2014), la facilidad de parto (Bennet y Gregory, 2001), el peso adulto (Meyer, 1995; Bolígon et al., 2013), y la longevidad (Santana et al., 2013) y una correlación negativa con la producción de leche (Miller y Wilton, 1999; Lee y Pollak, 2002; Choi et al., 2003). Se encontraron correlaciones genéticas negativas entre la producción de leche y la facilidad de parto (Eaglen et al., 2013) y el peso al nacimiento (Lee y Pollak, 2002; Choi et al., 2003) mientras que la correlación existente con el peso adulto es positiva (Liinamo et al., 2001). El peso al nacimiento está positivamente correlacionado con la facilidad de parto (Volstry et al., 2015) y el peso adulto (Meyer, 1995; Berry y Crowley, 2013) y negativamente con la longevidad (Rasali et al., 2005).

A modo de resumen, en la Tabla 4 se presentan los valores de las estimas de la heredabilidad directa y materna obtenidas en diferentes estudios con metodologías distintas para los diferentes caracteres.

Tabla 4: Heredabilidad de los efectos directos (h^2), maternos (h^2_m) y la correlación genética entre ambos efectos (r_{dm}) para los diferentes caracteres (peso al destete = PD, producción de leche = PL, facilidad de parto = FP, peso al nacimiento = PN, peso adulto = PA y longevidad = LONG).

Carácter	Raza	Autor	Metodología ¹	Modelo ²	h^2 (ee)	h^2_m (ee)	r_{dm} (ee)
PD	Beef cattle breeds	Miller y Wilton, 1999	MTDFREML	Bi-carácter	0,22 (0,06)	0,24 (0,17)	-0,35 (0,27)
	Korean beef cattle	Lee y Pollak, 2002	MTGSAM	Bi-carácter	0,34 (0,05)	-	-
	Beef cattle breeds	Crowley et al., 2011	ASREML	Uni-carácter	0,27 (0,03)	0,08 (0,02)	-0,12 (0,15)
	Bruna dels Pirineus	Quintanilla et al., 1999	Bayesiana	Uni-carácter	0,21 (0,08)	0,10 (0,03)	-0,03 (0,04)
	Australian beef cattle	Meyer et al., 1997	REML	Uni-carácter	0,14 / 0,40	0,08 / 0,26	-0,23 / -0,64
	Asturiana de los valles	Gutiérrez et al., 2007	DFREML	Multi-carácter	0,45 (0,03)	0,13 (0,02)	-0,44 (0,10)
	Irish beef cattle	Berry y Evans, 2014	ASREML	Bi-carácter	0,27 (0,02)	0,18 (0,01)	-
	Nellore	Chud, 2014	AIREML	Bi-carácter	0,28 (0,02)	0,07 (0,01)	-0,49 (0,04)
PL	Beef cattle breeds	Miller y Wilton, 1999	MTDFREML	Bi-carácter	0,35 (0,18)	-	-
	Korean beef cattle	Lee y Pollak, 2002	MTGSAM	Bi-carácter	0,21 (0,03)	-	-
	Parda de Montaña	Cortés et al., 2015	TM	Multi-carácter	0,30	-	-
	Hereford	Meyer et al., 1994	REML	Uni-carácter	0,12	-	-
	Hereford	McNeil y Mott, 2006	Bayesiana	Multi-carácter	0,25 (0,06)	-	-
FP	Canadian Simmental	Jamrozik y Miller, 2014	Bayesiana	Multi-carácter	0,04 (0,003)	0,04 (0,003)	0,59 (0,04)
	Beef cattle breeds	Bennet y Gregory, 2001	-	-	0,43	0,23	-0,26
	Italian Piedmontese	Carnier et al., 2000	VCE	Uni-carácter	0,19 (0,01)	0,09 (0,01)	-0,42 (0,06)
	Asturiana de los valles	Cervantes et al., 2010	DFREML	Multi-carácter	0,32 (0,02)	0,07 (0,01)	-0,58 (0,09)
	Charolais	Phocas y Laloe, 2003	GFCAT	Uni-carácter	0,27	0,18	-0,36
	Charolais	Phocas y Laloe, 2003	ASREML	Uni-carácter	0,14	0,13	-0,34
	Blonde d'Aquitaine	Phocas y Laloe, 2004	Bayesiana	-	0,09 (0,01)	0,08 (0,01)	-0,45 (0,07)
	Gelbvieh	Varona et al., 1999	Bayesiana	Bi-carácter	0,21	0,08	-0,32
Asturiana de los valles	Gutiérrez et al., 2007	DFREML	Multi-carácter	0,19 (0,01)	0,14 (0,01)	-0,21 (0,09)	

Tabla 4 (continuación)

Carácter	Raza	Autor	Metodología ¹	Modelo ²	h^2 (ee)	h^2_m (ee)	r_{dm} (ee)
PN	Blonde d'Aquitaine	Phocas y Laloe, 2004	Bayesiana	-	0,37 (0,02)	0,10 (0,01)	-0,49 (0,05)
	Bruna dels Pirineus	Fina et al., 2013	GSEVM	Uni-carácter	0,23/0,38	-	-
	Charolais	Mujibi y Crews., 2009	ASREML	Multi-carácter	0,46 (0,03)	0,14 (0,02)	0,27 (0,06)
	Charolais	Erikson et al., 2004	DMU	Bi-carácter	0,48	0,10	-0,34 (0,11)
	Asturiana de los valles	Gutiérrez et al., 2007	DFREML	Multi-carácter	0,39 (0,03)	0,20 (0,02)	-0,33 (0,08)
	Charolais	El Saied et al., 2006	VCE	Multi-carácter	0,36 (0,04)	0,37 (0,04)	-0,87 (0,05)
PA	Nellore	Silveira et al., 2015	BOA	Bi-carácter	0,44 (0,01)	-	-
	Hereford	Meyer, 1995	DFREML	Bi-carácter	0,47	-	-
	Nellore	Garnero et al., 2013	Bayesiana	Multi-carácter	0,44	-	-
	Nellore	Boligon et al., 2013	THRGIBBSF90	Multi-carácter	0,44 (0,01)	-	-
LONG	Nellore	Van Melis et al., 2007	Bayesiana	Multi-carácter	0,25 (0,02)	-	-
	Canadian Simmental	Jamrozik et al., 2013	Bayesiana	Multi-carácter	0,13/0,35	-	-

¹Metodología utilizada para estimar los componentes de la varianza: MTDFREML (Boldman et al., 1993); MTGSAM (Van Tassell y Van Vleck, 1995); ASREML (Gilmour et al., 2009); REML (Meyer, 1989); Bayesiana (Gibbs sampling); DFREML (Meyer, 1992); AIREML (Average Information Restricted Maximum Likelihood); TM (Legarra et al., 2008); VCE (Neumaier y Groeneveld, 1998); GFCAT (based on marginal maximum likelihood); GSEVM (Ibáñez-Escriche et al., 2010); DMU (Jensen y Madsen, 1994); BOA (Smith, 2005); THRGIBBSF90 (Misztal et al., 2002).

²Modelo utilizado en el análisis: Uni-carácter (un carácter); Bi-carácter (dos caracteres); Multi-carácter (más de dos caracteres).

1.4.7 Pesos económicos

Todas las explotaciones deberían tener sus propios índices económicos a partir de los valores genéticos de sus animales y de los pesos económicos asignados a los caracteres de su interés, con el objetivo de saber que animales son los más rentables en sus condiciones y así poder hacer una mejor gestión de la mejora genética en la explotación. Para obtener esos índices se pueden utilizar modelos bio-económicos que permitan describir la compleja naturaleza de la producción de carne en vacas nodrizas teniendo en cuenta la genética, la nutrición, el manejo y los factores económicos (Jones et al., 2004).

El cálculo de los pesos económicos para los caracteres de interés en vacuno de carne no es una tarea fácil, debido a la gran variabilidad que presentan las explotaciones a nivel de raza, zona geográfica o sistema de explotación. Amer et al. (2002) en Irlanda, encontraron unos valores económicos, en € por unidad del carácter de 11,8, 9,34, 3,1 y -6,8 para la facilidad de parto, peso de la canal, peso al destete y peso adulto respectivamente. Por otro lado, Aby et al. (2012) en Noruega obtuvieron unos valores económicos relativos en € por unidad del carácter de 29,2, 28,7, 8,8, 5,9, 5, 4,5, 4,2, 3,3, 2,7 y 0,2 para peso de la canal, longevidad, crecimiento en engorde, crecimiento en lactación, conformación de la canal, engrasamiento de la canal, edad al primer parto, intervalo entre partos, facilidad de parto y peso al nacimiento respectivamente. Amer et al. (2002) le dan mayor importancia económica a la facilidad de parto que al peso de la canal mientras que para Aby et al. (2012) tiene más peso económico el peso de la canal que la facilidad de parto.

En la mayoría de explotaciones de nuestro país todavía no se pueden generar índices económicos precisos y fiables, debido a principalmente dos razones: por un lado a la falta de recogida de información de los caracteres deseados y por otro lado al elevado número de animales sin paternidad conocida existentes, que impide la creación de una genealogía consistente. La Tabla 5 es un ejemplo del margen de mejora que tiene la raza Parda de Montaña en cuanto a la obtención de registros respecto a razas tanto con esquemas de mejora genética muy consolidados (Limusina y Charolesa), como a razas más locales que no están tan difundidas (Aubrac).

Tabla 5: Información de los registros de nacimientos y controles por raza en el año 2014.

	<i>Limousine^a</i>	<i>Charolais^a</i>	<i>Aubrac^a</i>	Parda de Montaña ^b
Nº nacimientos	992.165	1.486.202	171.790	10.240
Nº explotaciones	33431	42908	7374	477
Nº nacimientos por explotación	29,7	34,6	23,3	21,4
Animales con paternidad desconocida (%)	11,4	9,3	8,9	72,5
Uso inseminación artificial (%)	8	14	9	-
Vacas controladas de la población total (%)	23	24	38	18
Registros facilidad de parto (%)	25,2	25,1	38,1	12,8
Registros peso al nacimiento	23,5	23,6	28,1	18,1
Registros peso al destete	10,9	11,8	7,6	7,1

^aGuerrier y Leudet, (2015); ^bbase de datos ARAPARDA

1.5 Otros Programas de Mejora Genética

El Programa de Mejora Genética de la raza Parda de Montaña (2012) es un programa muy joven en comparación con algunas de las razas francesas más extendidas de aptitud cárnica (Limusina 1886; Charolesa 1882) y con algunas de las razas autóctonas de fomento o en peligro de extinción de España (Bruna dels Pirineus 1997; Pirenaica 1995; Asturiana de los Valles 1991; Rubia Gallega 1990).

Estas razas españolas incluyen en sus programas unos criterios de selección parecidos a los de la raza Parda de Montaña (MAGRAMA, 2017). La raza Bruna dels Pirineus presenta los siguientes criterios: peso al nacimiento, peso al destete, facilidad de parto, docilidad, intervalo entre partos, peso vivo al año, peso, conformación y engrasamiento de la canal, crecimiento postdestete, índice de conversión y morfología cárnica. Los criterios de selección de la raza Pirenaica son los siguientes: peso al nacimiento, peso a los 120 días, efecto materno a los 120 días, peso a los 210 días, peso, conformación y engrasamiento de la canal. En la raza Asturiana de los Valles se incluyen los siguientes criterios: peso al destete, ganancia media diaria pre y postdestete, facilidad de parto, peso y conformación de la canal, calificación morfológica y formato carnicero. Por

último, la raza Rubia Gallega presenta los siguientes criterios: peso al nacimiento, peso al destete, ganancia media diaria postdestete, índice de conversión, medidas zoométricas, calificación morfológica, edad y peso al sacrificio, peso, rendimiento, conformación y engrasamiento de la canal.

Las Asociaciones de criadores de estas razas son los responsables de la elaboración y del almacenamiento de las dosis seminales, se obtienen de los mejores sementales de las pruebas individuales de valoración y se distribuyen entre los ganaderos para difundir la mejora genética.

En el caso de la raza Parda de Montaña, al disponer de un Programa de Mejora Genética joven, que todavía no permite disponer de una base de datos sólida, y debido a la gran variabilidad genética y ambiental existente dentro de la población es de vital importancia la aportación de más datos fenotípicos.

1.6 Referencias bibliográficas

Åby, B.A., Aass, L., Sehested, E., Vangen, O., 2012. A bio-economic model for calculating economic values of traits for intensive and extensive beef cattle breeds. *Livest. Sci.* 143, 259–269.

Adámez, P., 2009. Planificación y manejo de la explotación de vacuno de carne. Dirección general de industrialización y modernización agraria. Servicio de Formación Agraria e Iniciativas Colección “prácticas agropecuarias.”

Amer, P.R., Simm, G., Keane, M.G., Diskin, M.G., Wickham, B.W., 2001. Breeding objectives for beef cattle in Ireland. *Livest. Prod. Sci.* 67, 223–239.

Barrier, A.C., Dwyer, C.M., Macrae, A.I., Haskell, M.J., 2012. Survival, growth to weaning, and subsequent fertility of live-born dairy heifers after a difficult birth. *J. Dairy Sci.* 95, 6750–6754.

Bellido, M., Escribano, M., Mesías, F.J., Rodríguez de Ledesma, A., Pulido, F., 2001. Sistemas extensivos de producción animal. *Arch. Zootec.* 50, 465-489.

Bene, S., Polgar, J.P., Szabo, F., 2013. Some effects on birth weight of calves and calving difficulty of cows. 2. The results of milking cattle in Hungary. *Magyar Allatvosok Lapja* 135, 390–399.

Bennett, G.L., Gregory, K.E., 2001. Genetic (co)variances for calving difficulty score in composite and parental populations of beef cattle: I. Calving difficulty score, birth weight, weaning weight, and postweaning gain. *J. Anim. Sci.* 79, 45–51.

- Berry, D.P., Crowley, J.J.**, 2013. Cell Biology Symposium: Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle. *J. Anim. Sci.* 91, 1594–1613.
- Berry, D.P., Evans, R.D.**, 2014. Genetics of reproductive performance in seasonal calving beef cows and its association with performance traits. *J ANIM SCI* 92, 1412–1422.
- Blasco, I.**, 1991. Influencia de diversos factores de explotación sobre las características reproductivas del período post-parto en ganado vacuno de montaña. Universidad de Zaragoza.
- Boldman, K., Kriese, L., Van Vleck, L., Kachman, S.**, 1993. A Manual for Use of MTDFREML. A set of programs to obtain estimates of variances and covariances. USDA ARS Wash. DC.
- Boligon, A.A., Baldi, F., Albuquerque, L.G. de**, 2011. Genetic parameters and relationships between growth traits and scrotal circumference measured at different ages in Nellore cattle. *Genet. Mol. Biol.* 34, 225–230.
- Boligon, A.A., Carvalheiro, R., Albuquerque, L.G.**, 2013. Evaluation of mature cow weight: Genetic correlations with traits used in selection indices, correlated responses, and genetic trends in Nelore cattle. *J. Anim. Sci.* 91, 20–28.
- Caetano, S.L., Savegnago, R.P., Boligon, A.A., Ramos, S.B., Chud, T.C.S., Lôbo, R.B., Munari, D.P.**, 2013. Estimates of genetic parameters for carcass, growth and reproductive traits in Nellore cattle. *Livest. Sci.* 155, 1–7.
- Carnier, P., Albera, A., Zotto, R.D., Groen, A.F., Bona, M., Bittante, G.**, 2000. Genetic parameters for direct and maternal calving ability over parities in Piedmontese cattle. *J. Anim. Sci.* 78, 2532–2539.
- 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. Zaragoza, Universidad de Zaragoza. 215 págs.
- 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. *J. Anim. Sci.* 80, 1638–1651.
- Cerdeño, A., Vieira, C., Serrano, E., Lavín, P., Mantecón, A.R.**, 2006. Effects of feeding strategy during a short finishing period on performance, carcass and meat quality in previously-grazed young bulls. *Meat Science*, 72, 719–726.

Cerdeño, A., López, J., Gómez, A., Serrano, E., Mantecón, A.R., 2001. Efecto del momento del destete y del peso al sacrificio sobre la calidad de la canal y de la carne en terneros de la raza Parda de Montaña. *AIDA*, Zaragoza. *ITEA* 20(I), 523-525.

Cervantes, I., Gutiérrez, J.P., Fernández, I., Goyache, F., 2010. Genetic relationships among calving ease, gestation length, and calf survival to weaning in the Asturiana de los Valles beef cattle breed. *J. Anim. Sci.* 88, 96–101.

Choi, J.G., Jeon, K.J., Na, K.J., Lee, C.W., Kim, J.B., Lee, C., 2003. Trends in heritability of daily milk yield by periods in Korean cattle. *ASIAN Australas. J. Anim. Sci.* 16, 1239–1241.

Chud, T.C.S., Caetano, S.L., Buzanskas, M.E., Grossi, D.A., Guidolin, D.G.F., Nascimento, G.B., Rosa, J.O., Lôbo, R.B., Munari, D.P., 2014. Genetic analysis for gestation length, birth weight, weaning weight, and accumulated productivity in Nelore beef cattle. *Livest. Sci.* 170, 16–21.

Cook, B.R., Tess, M.W., Kress, D.D., 1993. Effects of selection strategies using heifer pelvic area and sire birth weight expected progeny difference on dystocia in first-calf heifers. *J. Anim. Sci.* 71, 602–607.

Cortés, X., Revilla, R., Casasús, I., Blanco, M., Sanz, A., Villalba, D., 2015. Análisis de los efectos ambientales y genéticos que afectan a la producción de leche en vacas nodrizas de la raza Parda de Montaña. *XVI Jorn. Sobre Prod. Anim.* Tomo 1, 36–38.

Crowley, J.J., Evans, R.D., Mc Hugh, N., Kenny, D.A., McGee, M., Crews, D.H., Berry, D.P., 2011. Genetic relationships between feed efficiency in growing males and beef cow performance. *J. Anim. Sci.* 89, 3372–3381.

D'Hour, P., Revilla, R., Wrigth, I.A., 1998. Possible adjustment of suckler herd management to extensive situations. *Ann. Zootech.* 47, 453-464.

Eaglen, S. a. E., Coffey, M.P., Woolliams, J.A., Wall, E., 2013. Direct and maternal genetic relationships between calving ease, gestation length, milk production, fertility, type, and lifespan of Holstein-Friesian primiparous cows. *J. Dairy Sci.* 96, 4015–4025.

El-Saied, U.M., Fuente, L.F. de la, Rodríguez, R., Primitivo, F.S., 2006. Genetic parameter estimates for birth and weaning weights, pre-weaning daily weight gain and three type traits for Charolais beef cattle in Spain. *Span. J. Agric. Res.* 4, 146–155.

Eriksson, S., Näisholm, A., Johansson, K., Philipsson, J., 2004. Genetic parameters for calving difficulty, stillbirth, and birth weight for Hereford and Charolais at first and later parities. *J. Anim. Sci.* 82, 375–383.

- Ferrer, C., Barrantes, O., Broca, A.,** 2001. La noción de biodiversidad en los ecosistemas pascícolas españoles. *Pastos* 31(2), 129-184.
- Fillat, F.,** 2007. *Pastos del Pirineo*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.
- Fina, M., Ibáñez-Escriche, N., Piedrafita, J., Casellas, J.,** 2013. Canalization analysis of birth weight in Bruna dels Pirineus beef cattle. *J. Anim. Sci.* 91, 3070–3078.
- Formigoni, I.B., V. Silva, J.A.I., Brumatti, R.C., Ferraz, J.B.S., Eler, J.P.,** 2002. Economic aspects of stayability as selection criterion in beef cattle industry in Brazil. *Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)*, 1–4.
- Garnero, A. del V., Marcondes, C.R., de Araujo, R.O., de Oliveira, H.N., Lobo, R.B.,** 2013. Bayesian inference applied to the estimation of heritability of growth curve parameters of Nellore females. *Cienc. Rural* 43, 702–708.
- Gilmour, A., Gogel, B., Cullis, B., Thompson, R.,** 2009. *ASReml User Guide Release 3.0*. VSN Int Ltd Hemel Hempstead UK.
- Guerrier J, Leudet O.,** 2015. Résultats contrôle des performances bovins allaitants. France - Campagne 2014, Institut de l'Élevage, Compte rendu n° 0015203017. Département GEP - Service Gestion et Sélection des Populations.
- Gutiérrez, J.P., Goyache, F., Fernández, I., Alvarez, I., Royo, L.J.,** 2007. Genetic relationships among calving ease, calving interval, birth weight, and weaning weight in the Asturiana de los Valles beef cattle breed. *J. Anim. Sci.* 85, 69–75.
- Ibáñez-Escriche, N., Garcia, M., Sorensen, D.,** 2010. GSEVM v.2: MCMC software to analyze genetically structured environmental variance models. *J. Anim. Breed. Genet.* 127, 249–251.
- ICAR,** 2014. International Committee for Animal Recording, Recording Guidelines. General Assembly held on May 2014, Berlin, Alemania.
- INIA,** 2007. Caracterización morfológica y genética de la raza Parda de Montaña: bases para la preservación de la diversidad (Proyecto N°: INIA RZ2006-0007-C03). CITA de Aragón, Universidad de Zaragoza, EAE-CSIC.
- Jamrozik, J., McGrath, S., Kemp, R.A., Miller, S.P.,** 2013. Estimates of genetic parameters for stayability to consecutive calvings of Canadian Simmentals by random regression models. *J. Anim. Sci.* 91, 3634–3643.
- Jamrozik, J., Miller, S.P.,** 2014. Genetic evaluation of calving ease in Canadian Simmentals using birth weight and gestation length as correlated traits. *Livest. Sci.* 162, 42–49.

- Jenkins, T.G., Ferrell, C.L.**, 1994. Productivity through weaning of nine breeds of cattle under varying feed availabilities: I. Initial evaluation. *J. Anim. Sci.* 72, 2787–2797.
- Jensen, J., Madsen, P.**, 1994. DMU: A package for the analysis of multivariate mixed models. *Proc 5th World Cong Genet. Appl Livest Prod Guelph Can.* 45–46.
- Johanson, J.M., Berger, P.J., Tsuruta, S., Misztal, I.**, 2011. A Bayesian threshold-linear model evaluation of perinatal mortality, dystocia, birth weight, and gestation length in a Holstein herd1. *J. Dairy Sci.* 94, 450–460.
- Jones, H.E., Amer, P.R., Lewis, R.M., Emmans, G.C.**, 2004. Economic values for changes in carcass lean and fat weights at a fixed age for terminal sire breeds of sheep in the UK. *Livest. Prod. Sci.* 89, 1–17.
- Kluyts, J.F., Naser, F.W., Bradfield, M.J.**, 2007. Proposed economic selection indices for the Simmentaler breed in South Africa. *South Afr. J. Anim. Sci.* 37, 122–131.
- Lee, C., Pollak, E.J.**, 2002. Genetic antagonism between body weight and milk production in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 80, 316–21.
- Legarra, A., Varona, L., Lopez de Maturana, E.**, 2008. TM Threshold Model <http://snp.toulouse.inra.fr/~alegarra/>.
- Liinamo, A.-E., Ojala, M., Arendonk, J. van**, 2001. Genetic relationship of meat and milk production in Finnish Ayrshire. *Livest. Prod. Sci.* 69, 1–8.
- López-Paredes, J., Alenda, R.**, 2015. Impacto económico de la mejora de la productividad en la rentabilidad del sector vacuno de carne en España. XVI Jorn. Sobre Prod. Anim. Tomo 2, 531–533.
- MacNeil, M.D., Mott, T.B.**, 2006. Genetic analysis of gain from birth to weaning, milk production, and udder conformation in Line 1 Hereford cattle. *J. Anim. Sci.* 84, 1639–1645.
- MAGRAMA**, 2015. El sector de la carne de vacuno en cifras. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. Centro de publicaciones. Disponible en <http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia>. (26 enero 2016).
- MAGRAMA**, 2017. Programas de Mejora Genética. Disponible en <http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/razas-ganaderas/razas/catalogo/autoctona-fomento/bovino/.aspx> (14 febrero 2017).
- Manrique, E., Revilla, R., Olaizola, A., Bernues, A.**, 1992. Los sistemas de producción de vacuno en montaña y su dependencia de los condicionantes del entorno. *BOVIS*: 46. 9-42.

- McHugh, N., Cromie, A.R., Evans, R.D., Berry, D.P.,** 2014. Validation of national genetic evaluations for maternal beef cattle traits using Irish field data. *J. Anim. Sci.* 92, 1423–1432.
- Meijering, A.,** 1984. Dystocia and stillbirth in cattle — A review of causes, relations and implications. *Livest. Prod. Sci.* 11, 143–177.
- Meyer, K.,** 1997. Estimates of genetic parameters for weaning weight of beef cattle accounting for direct-maternal environmental covariances. *Livest. Prod. Sci.* 52, 187–199.
- Meyer, K.,** 1995. Estimates of genetic parameters for mature weight of Australian beef cows and its relationship to early growth and skeletal measures. *Livest. Prod. Sci.* 44, 125–137.
- Meyer, K.,** 1992. Variance components due to direct and maternal effects for growth traits of Australian beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 31, 179–204.
- Meyer, K.,** 1989. Restricted maximum likelihood to estimate variance components for animal models with several random effects using a derivative-free algorithm. *Genet. Sel. Evol. GSE* 21, 317–340.
- Meyer, K., Carrick, M.J., Donnelly, B.J.,** 1994. Genetic parameters for milk production of Australian beef cows and weaning weight of their calves. *J. Anim. Sci.* 72, 1155–1165.
- Miller, S.P., Wilton, J.W.,** 1999. Genetic relationships among direct and maternal components of milk yield and maternal weaning gain in a multibreed beef herd. *J. Anim. Sci.* 77, 1155–1161.
- Miranda, M.E., Cañón, J., Ménissier, F., Hanset, R., Williams, J., Dunner, S.,** 2001. Identificación de los distintos haplotipos del gen de la miostatina en razas bovinas Europeas. IX Jornadas sobre Producción Animal (ITEA). N°22, pg:39.
- Misztal, I., Tsuruta, S., Strabel, B., Auvray, B., Druet, I., Lee, D.,** 2002. BLUPF90 and related programs (BGF90). *Proc 7th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod. Montp. Fr. Commun.* No 28–07.
- Montaño-Bermudez, M., Nielsen, M.K., Deutscher, G.H.,** 1990. Energy requirements for maintenance of crossbred beef cattle with different genetic potential for milk. *J. Anim. Sci.* 68, 2279–2288.
- Mujibi, F.D.N., Crews, D.H.,** 2009. Genetic parameters for calving ease, gestation length, and birth weight in Charolais cattle. *J. Anim. Sci.* 87, 2759–2766.

- Mwansa, P.B., Crews, D.H., Wilton, J.W., Kemp, R.A.,** 2002. Multiple trait selection for maternal productivity in beef cattle. *J. Anim. Breed. Genet.* 119, 391–399.
- Naazie, A., Makarechian, M.M., Berg, R.T.,** 1990. Factors influencing calving difficulty in beef heifers. *J. Anim. Sci.* 67, 3243–9.
- Neumaier, A., Groeneveld, E.,** 1998. Restricted maximum likelihood estimation of covariances in sparse linear models. *Genet. Sel. Evol.* 30, 3–26.
- Olleta, J.L., Revilla, R., Blasco, L., San Juan, L.,** 1991. Inicio de la pubertad en novillas de montaña: Efecto de la raza y del crecimiento durante la recría. *I.T.E.A. Producción Animal Vol. extra N° 11:* 94-96.
- Osoro, K.,** 1995. Producción de carne de vacuno de calidad (1). Conocimientos básicos para el manejo eficiente de sistemas de producción animal en pastoreo. *Bovis*, 66, 13-35.
- Owens, F.N., Dubeski, P., Hanson, C.F.,** 1993. Factors that alter the growth and development of ruminants. *J. Anim. Sci.* 71, 3138–3150.
- Phocas, F., Laloë, D.,** 2004. Genetic parameters for birth and weaning traits in French specialized beef cattle breeds. *Livest. Prod. Sci.* 89, 121–128.
- Phocas, F., Laloë, D.,** 2003. Evaluation models and genetic parameters for calving difficulty in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 81, 933–938.
- Quintanilla, R., Varona, L., Pujol, M.R., Piedrafita, J.,** 1999. Maternal animal model with correlation between maternal environmental effects of related dams. *J. Anim. Sci.* 77, 2904–2917.
- Rasali, D.P., Crow, G.H., Shrestha, J.N.B., Kennedy, A.D., Brûlé-Babel, A.,** 2005. Genetic association between cows' stayability to three years of age and juvenile growth traits in Canadian Angus herds. *Can. J. Anim. Sci.* 85, 139–143.
- 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.
- Rice, L.,** 1994. Dystocia-related risk factors. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 10, 53–68.
- Rodrigues, P.F., Menezes, L.M., Azambuja, R.C.C., Suñé, R.W., Silveira, I.D.B., Cardoso, F.F.,** 2014. Milk yield and composition from Angus and Angus-cross beef cows raised in southern Brazil. *J. Anim. Sci.* 92, 2668–76.
- Rodríguez-Sánchez, J.A.,** 2016. Influencia de las pautas de crecimiento en lactancia y recría sobre los rendimientos de novillas de dos razas de aptitud cárnica con parto a dos

años. Tesis doctoral. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria del Gobierno de Aragón (CITA) y Universidad de Zaragoza.

Silveira, D.D., Souza, F.R.P., Brauner, C.C., Ayres, D.R., Silveira, F.A., Dionello, N.J.L., Boligon, A.A., 2015. Body condition score of Nelore cows and its relation with mature size and gestation length. *Livest. Sci.* 175, 10–17.

San Juan, L., 1993. Contribución al estudio del anestro postparto en vacas de carne explotadas en zonas de montaña: influencia de la alimentación y del manejo del ternero. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. 282 pp.

Santana, M.L., Eler, J.P., Bignardi, A.B., Ferraz, J.B.S., 2013. Genetic associations among average annual productivity, growth traits, and stayability: A parallel between Nelore and composite beef cattle. *J. Anim. Sci.* 91, 2566–2574.

Sanz, A., 2000. Dinámica folicular en vacas nodrizas sometidas a condiciones nutricionales y de manejo del ternero diferentes. Factores de explotación asociados a la duración del anestro postparto. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. 224 pp.

Smith, B., 2005. Bayesian Output Analysis Program (BOA). Version 1.1 user' s Manual. Available <http://public-Heal>. Access 23-05-2016.

Van Melis, M.H., Eler, J.P., Oliveira, H.N., Rosa, G.J.M., Silva, J.A.V., Ferraz, J.B.S., Pereira, E., 2007. Study of stayability in Nelore cows using a threshold model. *J. Anim. Sci.* 85, 1780–1786.

Van Tassell, C., Van Vleck, L., 1995. A manual for use of MTGSAM. A set of FORTRAN programs to apply Gibbs sampling to animal models for variance component estimation. USDA ARS Wash. DC.

Varona, L., Misztal, I., Bertrand, J.K., 1999. Threshold-Linear Versus Linear-Linear Analysis of Birth Weight and Calving Ease Using an Animal Model: II. Comparison of Models. *J. Anim. Sci.* 77, 2003–2007.

Vergara-Garay, O., Simanca-Sotelo, J., Salgado-Otero, R., 2014. Heritabilities, Correlations and Genetic Tendencies for Pre and Post Weaning Traits in a Colombian Multibreed Beef Cattle Population. *Rev. Cient.-Fac. Cienc. Vet.* 24, 331–340.

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. *J. Anim. Sci.* 78, 1132–40.

Vostry, L., Milerski, M., Krupa, E., Vesela, Z., Vostra-Vydrova, H., 2015. Genetic relationships among calving ease, birth weight and perinatal calf survival in Charolais cattle. *Anim. Sci. Pap. Rep.* 33, 233–242.

Wulforth, J.D., Ahola, J.K., Kane, S.L., Keenan, L.D., Hill, R.A., 2010. Factors affecting beef cattle producer perspectives on feed efficiency. *J. Anim. Sci.* 88, 3749–3758.

2 OBJETIVOS

El objetivo principal de esta tesis es estudiar la componente genética y ambiental de los caracteres que tienen más importancia sobre la viabilidad de las explotaciones desde el punto de vista económico, en concreto el peso al destete y la facilidad de parto. Además se estudiará su relación con otros caracteres de interés como la producción de leche o el peso al nacimiento, y su correlación con la productividad de las vacas a lo largo de su vida útil.

Este objetivo general se puede desglosar en los siguientes objetivos particulares:

1. Estudiar el carácter facilidad de parto y el sistema de valoración del carácter utilizado por los ganaderos en el marco del esquema de mejora de la raza bovina Parda de Montaña.
2. Analizar la producción de leche en vaca nodriza y su relación con el peso al destete y su componente materna.
3. Estudiar la relación entre los efectos de manejo: época de nacimiento, tasa de madurez de la vaca en la primera cubrición, edad al primer parto, y raza, con la productividad y la longevidad de la vaca de carne en condiciones de montaña.
4. Relacionar los valores genéticos de los caracteres de interés en la vaca nodriza con la longevidad y la productividad de los animales a lo largo de su vida productiva.

**3 CAPÍTULO I - EVALUACIÓN GENÉTICA DE LA
FACILIDAD DE PARTO EN LA RAZA BOVINA
PARDA DE MONTAÑA USANDO LOS MODELOS
LINEAL Y UMBRAL**

Este capítulo ha dado lugar a la siguiente publicación: Cortés-Lacruz, X., Revilla, R., Casasús, I., Sanz, A., Ferrer, J., Banzo, P., Villalba, D., 2017. *Evaluación genética de la facilidad de parto en la raza bovina Parda de Montaña usando los modelos lineal y umbral*. ITEA-Información Técnica Económica Agraria, ITEA, 113-2. Páginas: 158-175

Resumen

El objetivo principal del trabajo fue estudiar la componente genética y ambiental del carácter facilidad de parto en la raza bovina Parda de Montaña y discutir el sistema de valoración utilizado en el esquema de mejora. Se utilizaron registros de facilidad de parto de 5.738 animales. La evaluación y estimación genética de las variables se realizó con un modelo bi-carácter (facilidad de parto y peso al nacimiento) utilizando cuatro modelos diferentes, asumiendo para la facilidad de parto una distribución normal o mediante un modelo umbral, e incluyendo o no efectos maternos. La proporción de partos sin ayuda fue del 70,3%, seguida de los partos asistidos sin dificultad (24,9%), de los partos asistidos con dificultad (3,1%), de los partos por cesárea (0,9%) y por último, de los partos con asistencia veterinaria (0,8%). Las frecuencias de partos difíciles y por cesárea en las vacas de primer parto fueron el doble y el cuádruple, respectivamente, que en el resto. Las vacas con primer parto antes de los dos años de edad tuvieron el doble de partos difíciles y por cesárea que las que parieron a partir de los dos años y medio de edad. Aunque las heredabilidades de la facilidad de parto fueron muy diferentes entre los dos modelos, ambos fueron equivalentes para evaluar genéticamente el carácter facilidad de parto, con una correlación de Spearman entre las estimas de valor genético de los dos modelos de 0,95. El actual sistema de codificación del carácter facilidad de parto utilizado en el esquema de selección puede ser simplificado y mejorado.

Palabras clave: vaca nodriza, heredabilidad, modelo umbral, efectos maternos

Abstract

Genetic evaluation of calving ease in Parda de Montaña beef breed based on linear and threshold models

The main objective of this work was to study the genetic and environmental components of calving ease in the Parda de Montaña beef breed. The calving ease score used to record field data was discussed conducting surveys to farmers. The number of calving ease records used in the study was 5,738. The estimation of variance components and genetic evaluation was performed using a bi-trait model (calving ease and birth weight) using four different models, explaining calving ease as normal or a threshold model, and including or not maternal effects. The proportion of unassisted calving was 70.3%, followed by calvings attended without difficulty (24.9%), attended with difficulty (3.1%), caesarean births (0.9%) and finally, by

births with veterinary assistance (0.8%). Frequency of difficult calvings and caesareans was two-fold and four-fold higher, respectively, in first-calving cows than in the rest. Cows with first parity before two years also had twice more difficult calvings and caesareans than cows with first parity after two years and a half. The heritability of calving ease trait obtained from the threshold model was higher than that obtained by the normal model, but both models had similar estimated breeding values (Spearman correlation 0.95). The current system of encoding calving ease used in the selection scheme can be simplified and improved.

Key words: beef cattle, heritability, threshold model, maternal effects

3.1 Introducción

La facilidad de parto (FP) es un carácter que se incluye en los programas de mejora genética de la mayoría de las razas de vacuno de carne, como es el caso de la raza Parda de Montaña (ARCA, 2015). La facilidad de parto es especialmente importante en los sistemas extensivos, dado que los partos difíciles pueden originar elevadas pérdidas económicas, tanto en gastos y cuidados veterinarios (Kluyts et al., 2007) como en la menor productividad de las vacas afectadas, ya que los partos difíciles incrementan la mortalidad de los terneros (Wulfhorst et al., 2010; Cervantes et al., 2010) y retrasan la recuperación de la actividad ovárica postparto (Sanz et al., 2004) pudiendo inclusive incrementar la mortalidad de las vacas (Barrier et al., 2012).

Los principales factores no genéticos que afectan a la facilidad de parto son el orden de parto, con mayor número de partos distócicos en las vacas de primer parto (Meijering, 1984; Rice, 1994), la edad al primer parto, con partos más problemáticos en las vacas jóvenes que paren por primera vez (Bene et al., 2013) y la posición fetal en el momento del parto, dado que una mala presentación fetal incrementa el riesgo de incidencia de partos asistidos (Holland et al., 1993). Por otro lado, existen factores genéticos que pueden producir distocias (tamaño del feto, existencia de más de un feto, insuficiente abertura del canal pélvico, etc.), por lo tanto el carácter facilidad de parto puede estar controlado genéticamente y ser la combinación de otros caracteres.

Existe una gran variabilidad en las estimas de la heredabilidad (h^2) de la facilidad de parto, desde 0,04 hasta 0,41 (Jamrozik y Miller, 2014). La facilidad de parto es un carácter categórico que se divide en distintas clases. El International Committee for Animal Recording (ICAR, 2014) propone el siguiente método de anotación de la facilidad de parto: 1, fácil sin asistencia; 2, fácil con poca ayuda; 3, difícil (asistencia mecánica o asistencia de 2 o más personas); 4, cesárea; y 5, embriotomía. El sistema de codificación propuesto por el ICAR no

es único, en los diversos esquemas de mejora se clasifica la facilidad de parto en distintas categorías, que pueden ser poco claras incluso para el ganadero que registra la información. Los modelos utilizados en evaluación genética acostumbran a tratar la facilidad de parto asumiendo que se distribuye de manera Gaussiana, pero autores como Varona et al. (1999) recomiendan analizar la distribución subyacente de la facilidad de parto mediante modelos con una distribución con distintos umbrales que definan las categorías del carácter.

La raza Parda de Montaña es una raza asentada principalmente en zonas montañosas. Originalmente explotada como raza mixta, se especializó posteriormente en la producción de leche en numerosas áreas. Hace aproximadamente unos 25 años, y debido al abandono del ordeño en las zonas de montaña de nuestro país, pasó a ser utilizada como raza de aptitud cárnica, situación que se ha mantenido hasta la actualidad. Reconocida en el año 2012 como raza autóctona de fomento por el MAGRAMA, la Asociación de Criadores de la raza Parda de Montaña (ARAPARDA) es una de las entidades oficialmente reconocidas para la gestión de su libro genealógico y el desarrollo de su programa de mejora.

En este contexto, el objetivo principal de este capítulo es estudiar el carácter facilidad de parto en la raza Parda de Montaña. Para ello, se analiza mediante encuestas el sistema de valoración del carácter utilizado por los ganaderos en el marco del esquema de mejora de la raza bovina Parda de Montaña. Además, se estudian las componentes genética y ambiental del carácter usando un modelo normal y un modelo umbral.

3.2 Material y métodos

3.2.1 Encuestas

Se realizaron un total de 14 encuestas a otros tantos ganaderos de la asociación ARAPARDA, todos ellos implicados en el programa de mejora y que habían aportado el 15% del total de registros de facilidad de parto de la base de datos del Libro Genealógico. Las encuestas constaban de once apartados en los que se hacían unas preguntas básicas de manejo y se consultaba a los ganaderos si anotaban todos los datos de facilidad de parto, si sabían definir las diferentes categorías de dificultad y diferenciarlas entre ellas, si tenían en cuenta la posición del ternero en los partos distócicos, si determinaban el peso de los terneros al nacer con báscula o con cinta, si pesaban los terneros al destete, y que parámetro productivo o reproductivo de los que se les mostraban a continuación (intervalo entre partos, facilidad de parto, peso al nacimiento (PN), crecimiento en engorde, rendimiento de la canal, terneza de la carne, etc.) era más importante para ellos.

3.2.2 Bases de datos del Libro Genealógico

Los ganaderos de la asociación ARAPARDA utilizan un sistema de recogida de datos para los partos en el cual se anota el número de identificación oficial del ternero y de sus padres, la fecha de nacimiento, el sexo, si nace muerto, si es parto gemelar y el PN. Debe indicarse también la facilidad de parto, mediante un número del 1 al 5 (1, sin ayuda; 2, asistido sin dificultad; 3, asistido con dificultad; 4, con asistencia veterinaria; y 5, cesárea).

El número de registros de facilidad de parto del que se dispone en la base de datos de ARAPARDA entre 2003 y 2012 es de 5.738, producidos en 228 explotaciones y resultado de hijos de 335 toros diferentes. La mayoría de explotaciones aportaron menos de 25 registros a lo largo del periodo de estudio, y solamente 12 de ellas aportaron más de 100 registros. Se dispone de 22 toros con más de 50 datos de facilidad de parto de sus hijos. Un 19,1% de los registros son de animales de primer parto, un 21,7% de animales de segundo parto y un 59,2% de animales con más de dos partos.

Se realizó un análisis descriptivo de los registros en función de la edad (primíparas y multíparas), del número de parto (entre 1 y 9), de la edad al primer parto (menor de 2, entre 2 y 2,5, entre 2,5 y 3 y mayor de 3 años), del año de parto, de la época del año del parto, y se estudió la asociación entre la incidencia de partos difíciles y los diferentes efectos con un test chi-cuadrado. Las medias de peso al nacimiento de los distintos niveles de los efectos fijos se compararon mediante un test t-student. En todos los casos, el nivel de significación fue del 5%.

3.2.3 Evaluación genética con efectos directos

Para realizar la evaluación genética, se construyó un fichero con la genealogía de todos los animales. En este fichero constaba la información de 109.635 animales, de los cuales el 16,73% eran individuos fundacionales, el 18,44% tenían padre y madre conocidos, y del 64,83% restante solamente se conocía la madre.

Por otro lado se construyó un fichero con los registros de facilidad de parto y PN de 5.738 terneros inscritos en el libro genealógico de la raza Parda de Montaña, con los siguientes efectos ambientales registrados: sexo (macho, hembra), número de parto agrupado (1, 2, >2), edad en años al primer parto agrupada (<2, 2-2,5, 2,5-3, >3) y el efecto rebaño-año de nacimiento-estación de nacimiento (1007 niveles) como efecto aleatorio.

Teniendo en cuenta los efectos anteriores, el modelo estadístico que se utilizó fue el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + \text{sexo}_i + \text{número de parto}_j + \text{edad al primer parto}_k + \text{rebaño-año-estación}_l + u_m + e_{ijklm}$$

Dónde: Y: Carácter PN o FP, μ : media poblacional, sexo: efecto fijo sexo i , número de parto: efecto fijo del número de parto j de la madre, edad al primer parto: efecto fijo de la edad al primer parto k , rebaño-año-estación: efecto aleatorio del rebaño por año y por estación l , u: efecto genético aditivo del animal m para PN o FP, e_{ijklm} : residuo del modelo.

La matriz de varianzas-covarianzas (G) utilizada fue la siguiente, dónde A es la matriz de parentesco:

$$G = \sigma^2 \begin{bmatrix} u_{FP} \\ u_{PN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{FP}^2 & \sigma_{u_{FP}, u_{PN}} \\ \sigma_{u_{FP}, u_{PN}} & \sigma_{PN}^2 \end{bmatrix} \otimes A$$

La evaluación y estimación genética de las variables se realizó utilizando dos modelos distintos, asumiendo una distribución normal o con un modelo umbral. Para el modelo normal (MN) se consideró que las dos variables se distribuyen de manera normal mientras que para el modelo umbral (MU) se consideró que la variable PN se distribuía de manera normal y que la variable FP se distribuía en 5 categorías.

Se asumió una distribución a priori plana para los parámetros del modelo, ambos modelos se resolvieron con metodología bayesiana utilizando el programa TM (Legarra *et al.*, 2008). Se realizó una distribución marginal posterior de los resultados usando una cadena de 100.000 iteraciones, descartando las 30.000 primeras y reteniendo una de cada 100.

3.2.4 Evaluación genética con efectos maternos

La evaluación genética se realizó con los registros y la genealogía del caso anterior utilizando el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijklmn} = \mu + \text{sexo}_i + \text{número de parto}_j + \text{edad al primer parto}_k + \text{rebaño-año-estación}_l + u_n + p_m + \text{mat}_m + e_{ijklmn}$$

Dónde: Y: Carácter PN o FP, μ : media poblacional, sexo: efecto fijo sexo i , número de parto: efecto fijo del número de parto j de la madre, edad al primer parto: efecto fijo de la edad al primer parto k , rebaño-año-estación: efecto aleatorio del rebaño por año y por estación l , u: efecto genético aditivo del animal n para PN y FP, p: efecto ambiental permanente de la vaca m , mat: efecto genético materno de la vaca m para PN y FP, e_{ijklmn} : residuo del modelo.

La matriz de varianzas-covarianzas (G) utilizada fue la siguiente, dónde A es la matriz de parentesco:

$$G = \sigma^2 \begin{bmatrix} u_{FP} \\ u_{PN} \\ u_{FPm} \\ u_{PNm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{FP}^2 & \sigma_{u_{FP},u_{PN}} & \sigma_{u_{FP},u_{FPm}} & \sigma_{u_{FP},u_{PNm}} \\ \sigma_{u_{FP},u_{PN}} & \sigma_{PN}^2 & \sigma_{u_{PN},u_{FPm}} & \sigma_{u_{PN},u_{PNm}} \\ \sigma_{u_{FP},u_{FPm}} & \sigma_{u_{PN},u_{FPm}} & \sigma_{FPm}^2 & \sigma_{u_{FPm},u_{PNm}} \\ \sigma_{u_{FP},u_{PNm}} & \sigma_{u_{PN},u_{PNm}} & \sigma_{u_{FPm},u_{PNm}} & \sigma_{PNm}^2 \end{bmatrix} \otimes A$$

La evaluación y estimación genética de las variables se realizó mediante metodología bayesiana con el programa TM (Legarra et al., 2008). Para el modelo normal con efectos maternos (MNM) se consideró que las dos variables se distribuyen de manera normal mientras que para el modelo umbral con efectos maternos (MUm) se consideró que la variable PN se distribuía de manera normal y que la variable FP se distribuía en 5 categorías.

3.3 Resultados

3.3.1 Encuestas

Dado que para la realización de la encuesta se seleccionaron a los ganaderos que más información de sus rebaños aportaban al esquema de mejora, todos ellos anotaban la facilidad de parto (Tabla 6), diferenciando correctamente los cinco niveles de dificultad. Un 29% de los encuestados indicaban la existencia de mala posición del ternero en el momento del parto, siendo éste un dato que debería considerarse para mejorar la evaluación genética, al ser independiente del genotipo del ternero. En un 93% de las explotaciones se pesaban o se estimaba el peso del ternero al nacer mediante el uso de una cinta torácica, mientras que el 7% restante no recogían los pesos por la dificultad de manejo. En ningún caso se anotaba el peso del ternero en los partos que tenían lugar durante el pastoreo de los rebaños en puertos de montaña. Un 36% de los ganaderos pesaba los terneros al destete, que se producía entre los 4 y 5 meses de edad. En el 93% de los casos los terneros recibían concentrado durante la lactación. El 28% de los ganaderos encuestados realizaban el cebo de los terneros hasta el sacrificio. Los caracteres de mayor importancia para los productores fueron la facilidad de parto y el intervalo entre partos, seguidos de lejos por el crecimiento en engorde y el peso al destete de los terneros. Otros caracteres como el PN, el peso adulto de las vacas, el rendimiento de la canal en matadero, la grasa intramuscular y la terneza de la carne apenas fueron considerados. La edad media al primer parto de las vacas de todos los ganaderos estaba entre los dos años y medio y los tres años de vida.

Tabla 6: Resultados de las encuestas.

Ganadero	Anota facilidad parto	Anota mala posición	Pesa terneros nacimiento	Pesa terneros destete	Caracteres de interés ¹	Edad primer parto (meses)	Edad destete (meses)	Suplementa terneros	Ceba sus terneros
1	Si	si	Cinta	si	FP/IP	18	4	si	100%
2	Si	no	Cinta	no	FP	18	5	si	no
3	Si	no	No	no	FP	24-35	3-4	si	no
4	Si	no	Cinta	no	FP/PD	36	5	si	no
5	Si	no	Cinta	no	IP/CE	24	6-7	si	100%
6	Si	no	Cinta	si	FP/IP	30-36	5	si	no
7	Si	no	Báscula	no	FP/IP	36	4	si	no
8	Si	si	Cinta	no	IP/PA	36	5	si	no
9	Si	si	Cinta	si	IP/FP	36	5-6	si	40%
10	Si	no	Cinta	no	FP/IP	30	3	si	100%
11	Si	no	Cinta	si	IP	30	5	si	no
12	si	no	Cinta	no	-	36	3-4	si	no
13	si	si	Báscula	si	FP/CE	30	4-5	no	no
14	si	no	Cinta	no	FP/PD	24-30	4-5	si	no

¹ FP: facilidad de parto; IP: intervalo entre partos; CE: crecimiento en engorde; PD: peso al destete; PA: peso adulto de las vacas

La mayoría de partos en las ganaderías encuestadas fueron sin asistencia (76%) o asistidos sin dificultad (18%), mientras que solo un 6% de los partos presentaron complicaciones (categorías 3 a 5) (Tabla 7). Se detectó una gran variabilidad entre ganaderos en la valoración de la facilidad de parto: mientras en algunos casos todos los partos eran sin asistencia, otros tenían partos de categoría 5 (cesárea) sin casos de las categorías 3 ó 4, o alta incidencia de partos con asistencia veterinaria, sin requerir asistencia fuerte ni quirúrgica.

Tabla 7: Porcentaje de partos según la facilidad de parto en las 14 explotaciones encuestadas.

% de partos Ganadero	Facilidad de parto ¹				
	1	2	3	4	5
1	72	21	5	1	2
2	92	8	0	0	0
3	51	44	5	0	0
4	88	10	2	0	0
5	100	0	0	0	0
6	86	4	7	2	0
7	56	31	13	0	0
8	29	43	0	29	0
9	66	28	4	0	1
10	35	59	6	0	0
11	69	27	0	0	3
12	96	4	0	0	0
13	67	17	17	0	0
14	37	59	5	0	0
Total	76	18	4	1	1

¹Sin ayuda: 1; Asistido sin dificultad: 2; Asistido con dificultad: 3; Con asistencia veterinaria: 4; Cesárea: 5.

3.3.2 *Análisis descriptivo de la facilidad de parto de la base de datos ARAPARDA*

La incidencia de partos de los distintos niveles de dificultad recogidos en la base de datos fue de 70,3%, 24,9%, 3,1%, 0,8% y 0,9% para las categorías 1 a 5, respectivamente. El carácter facilidad de parto se vio influido por el número de parto, con mayor incidencia de partos con complicaciones (categorías 3 a 5) en las primíparas que en el resto (38 y 26%, respectivamente, test chi-cuadrado $P < 0,001$). Especialmente las dos categorías que requerían asistencia del veterinario (4 y 5) tuvieron una incidencia superior en las primíparas (Figura 2), con el consiguiente aumento de los costes, mientras que a partir del quinto parto los partos que requerían la presencia del veterinario derivaron con mayor frecuencia en cesárea.

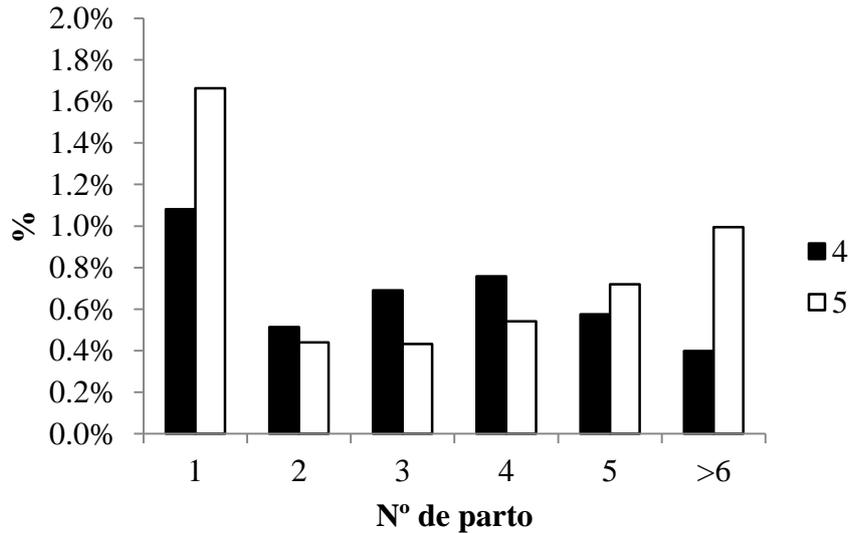


Figura 2: Distribución de partos tipo 4 (asistencia veterinaria) y 5 (cesárea) en función del número de parto de la madre.

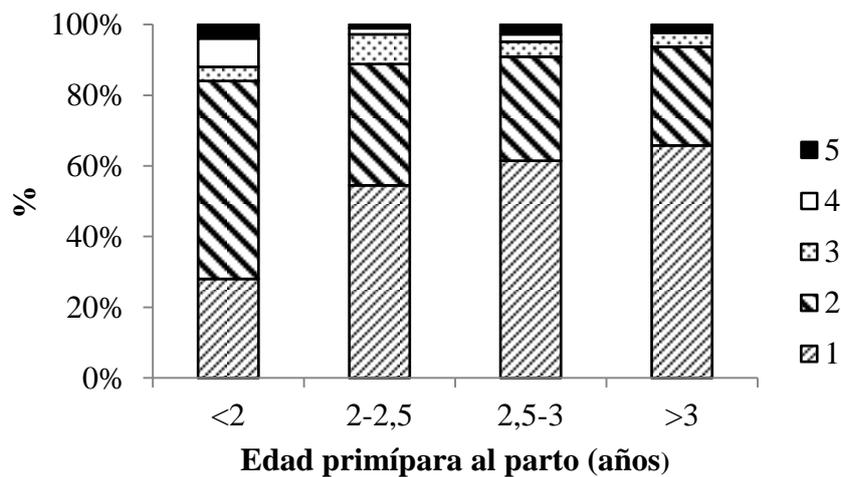


Figura 3: Porcentaje de partos distribuidos por la dificultad según la edad al parto1 de las primíparas. 1 Sin ayuda: 1; Asistido sin dificultad: 2; Asistido con dificultad: 3; Con asistencia veterinaria: 4; Cesárea: 5.

El número de partos registrados de vacas primíparas fue de 25, 178, 285, y 427 para las categorías de edad al primer parto <2, 2-2,5, 2,5-3, >3, respectivamente, con una edad media al primer parto de 2,9 años. La edad en la que se producía el primer parto afectó significativamente al carácter facilidad de parto (test chi-cuadrado $P < 0,001$). Las vacas que parían por primera vez antes de los dos años tenían una menor incidencia de partos de categoría 1 y un 12% de los partos que requerían la presencia del veterinario (categorías 4 y 5) (Figura 3). Aun así, debido al reducido número de animales de menos de dos años, no se pueden detectar diferencias estadísticas entre ese grupo de animales y

el resto para el ratio entre partos sin complicaciones (categorías 1 y 2) y con complicaciones (categorías 3 a 5). Solo cuando se agrupan las vacas con partos tempranos en una única categoría de menos de 2,5 años se puede decir que éstas tienen un peor ratio de partos sin complicaciones/con complicaciones que las de más de 3 años ($P < 0,05$).

El estudio del año de parto evidenció una reducción en la frecuencia de partos con complicaciones (categorías 3 a 5) desde el 10,40% en 2003 hasta el 2,85% en 2012. Los partos se agruparon principalmente en primavera y otoño, siendo marzo y abril los meses con más partos (15,8% y 12,7%, respectivamente). Durante el pastoreo estival en los puertos de montaña el porcentaje de partos con algún tipo de asistencia (categorías 2 a 5) se redujo por la dificultad de acceso y manejo. En los meses de primavera, con más partos y más fácil acceso a las vacas, la incidencia de partos con asistencia leve aumentó.

Tabla 8: Peso al nacimiento según la facilidad de parto y el sexo del ternero.

Facilidad de parto ¹	Peso al nacimiento (ee ²) (kg)			
	Hembra		Macho	
1	40,8 (0,12)	c	43,4 (0,14)	e
2	41,5 (0,24)	b	44,4 (0,20)	d
3	47,4 (0,80)	a	49,5 (0,54)	b
4	39,5 (1,17)	bc	46,4 (1,28)	cd
5	47,4 (2,00)	a	51,9 (0,90)	a

Medias con letras diferentes dentro de la misma columna son estadísticamente diferentes ($P < 0,05$). ¹Sin ayuda: 1; Asistido sin dificultad: 2; Asistido con dificultad: 3; Con asistencia veterinaria: 4; Cesárea: 5. ² Error estándar.

El PN de los machos ($46,70 \pm 0,43$ kg) fue superior al de las hembras ($42,13 \pm 0,62$ kg) ($P < 0,001$). Entre las categorías 1 a 3 el PN aumentó con la dificultad en ambos sexos, mientras que se redujo en la categoría 4 (Tabla 8). La comparación de los pesos entre las categorías 3 y 5 indicó que en machos el valor era superior en la categoría 5, pero en hembras no hubo diferencias significativas.

En los datos procedentes de la Finca Experimental “La Garcipollera”, donde además de la facilidad se registra la posición del ternero, se observó un 1,5% de los partos con una posición fetal anormal. Aunque no se puede detectar una asociación estadísticamente significativa entre la mala posición y la facilidad de parto, las frecuencias de partos con

posición fetal incorrecta fueron de 9, 13, 5 y 9% en las categorías 2, 3, 4 y 5, respectivamente.

3.3.3 *Parámetros genéticos directos y maternos*

La h^2 del carácter PN fue similar en los dos modelos, 0,63 en el modelo normal y 0,65 en el modelo umbral, mientras que en el carácter facilidad de parto hubo diferencias más grandes (0,45-0,68), siendo la h^2 del modelo umbral mayor que la del modelo normal (Tabla 9). Las correlaciones de Spearman y Pearson entre las valoraciones genéticas obtenidas con el modelo umbral y el modelo normal fueron altas para la facilidad de parto (0,97 y 0,94, respectivamente) (Figura 4) y muy altas para PN (0,98 y 0,99, respectivamente).

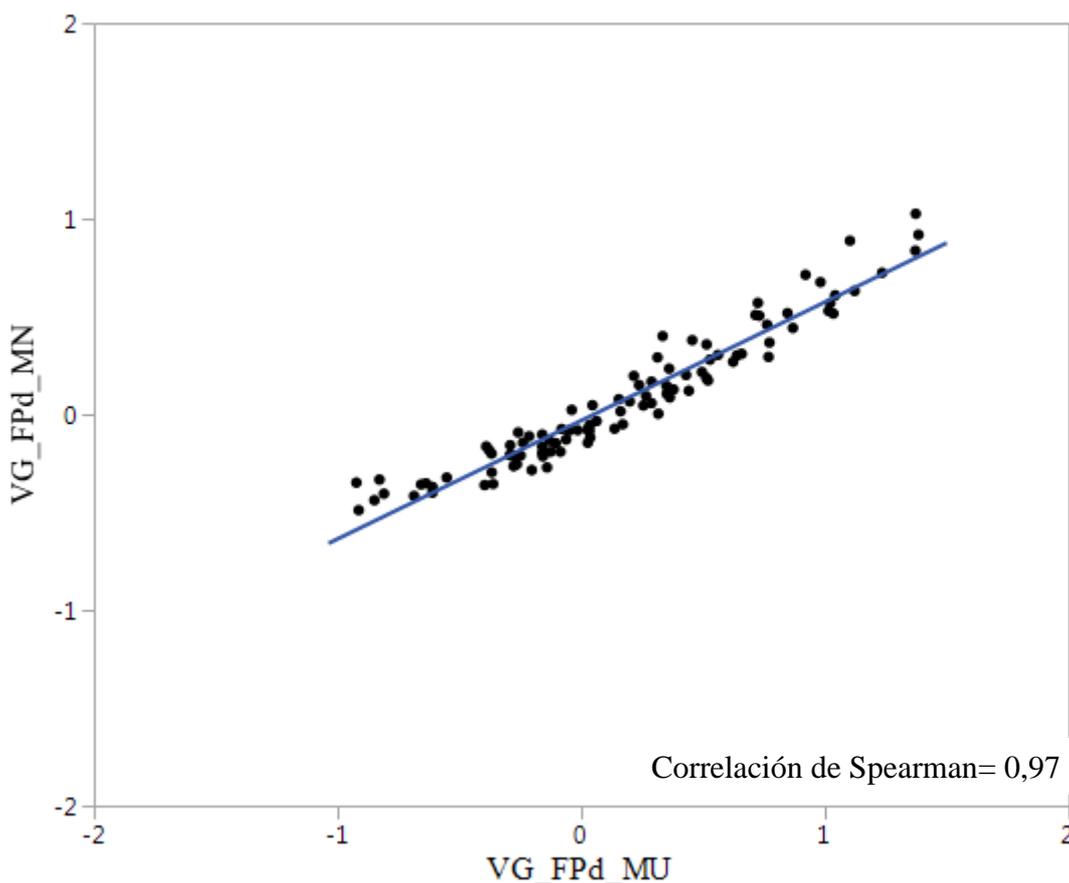


Figura 4: Correlación entre el valor genético directo para la facilidad de parto del modelo normal (VG_FPd_MN) y del modelo umbral (VG_FPd_MU).

Las heredabilidades del efecto genético materno (h^2_{mat}) para PN y para la facilidad de parto fueron elevadas, 0,29 y 0,27, respectivamente (Tabla 10). Los efectos genéticos directos de ambos caracteres estaban positivamente correlacionados, mientras que las

correlaciones entre los efectos genéticos directos y los efectos genéticos maternos de los dos caracteres fueron negativas. La correlación de Spearman entre el valor genético directo del modelo normal y el valor genético directo tanto del modelo normal como del modelo umbral con efectos maternos para la facilidad de parto fue alta (0,97 y 0,94 respectivamente) (Figuras 5 y 6).

Tabla 9: Varianza aditiva (σ^2_a), ambiental (σ^2_e) y heredabilidad (h^2) del carácter peso al nacimiento y facilidad de parto en el modelo normal y en el modelo umbral.

Modelo	Carácter	σ^2_a (ee ¹)	σ^2_e (ee ¹)	h^2 (ee ¹)
Normal	Peso al nacimiento	22,11 (1,28)	8,84 (0,76)	0,63 (0,03)
	Facilidad de parto	0,20 (0,01)	0,02 (0,002)	0,45 (0,04)
Umbral	Peso al nacimiento	22,34 (1,23)	8,85 (0,77)	0,65 (0,03)
	Facilidad de parto	0,52 (0,05)	0,11 (0,01)	0,68 (0,05)

¹error estándar

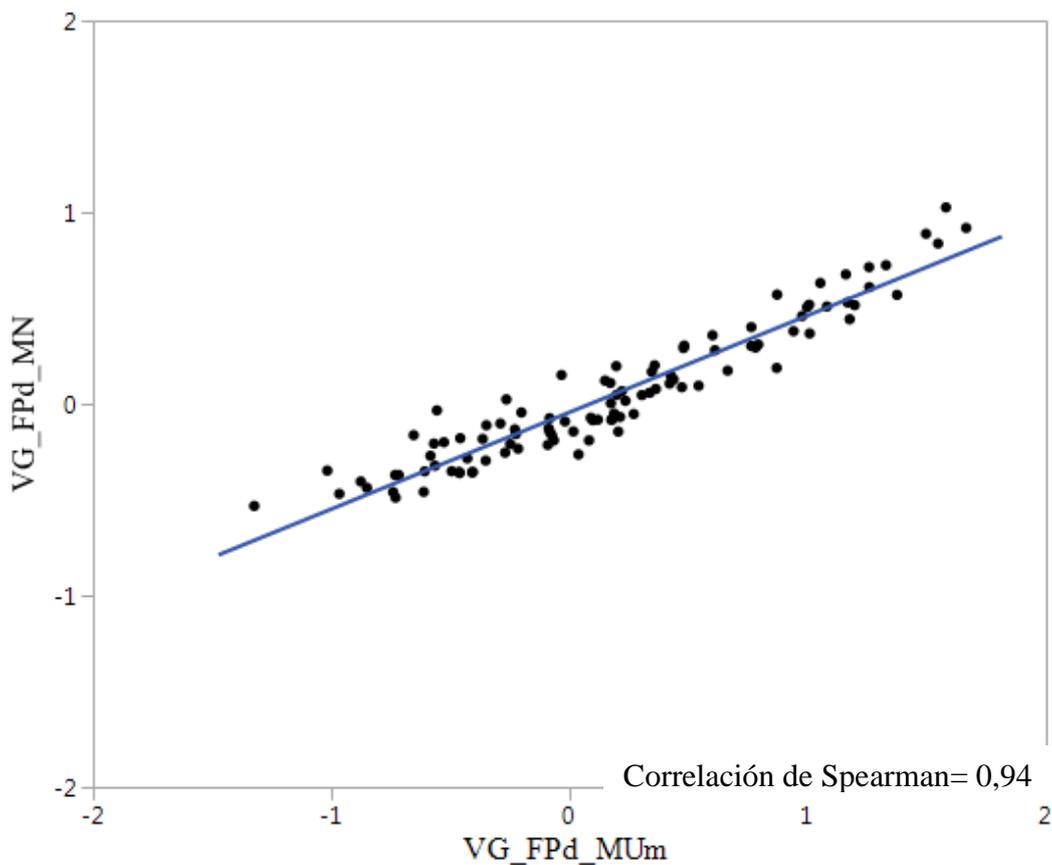


Figura 5: Correlación entre el valor genético directo del modelo normal (VG_FPd_MN) y el valor genético directo del modelo umbral con efectos maternos (VG_FPd_MUm) para la facilidad de parto.

Tabla 10: Estimaciones de la heredabilidad (en la diagonal) y de las correlaciones genéticas (encima de la diagonal) para el efecto directo (d) y materno (mat) del peso al nacimiento (PN) y la facilidad de parto (FP) para los modelos normal (MNm) y umbral (MUm).

Modelo	Caracteres	PNd (ee ¹)	FPd (ee ¹)	PNmat (ee ¹)	FPmat (ee ¹)
MNm	PNd	0,50 (0,01)	0,11 (0,02)	-0,40 (0,06)	-0,07 (0,03)
	FPd		0,50 (0,04)	-0,17 (0,02)	-0,19 (0,01)
	PNmat			0,25 (0,02)	0,12 (0,02)
	FPmat				0,24 (0,02)
MUm	PNd	0,51 (0,01)	0,20 (0,02)	-0,83 (0,04)	-0,12 (0,05)
	FPd		0,58 (0,02)	-0,29 (0,06)	-0,28 (0,02)
	PNmat			0,29 (0,03)	0,19 (0,02)
	FPmat				0,27 (0,03)

¹ error estándar

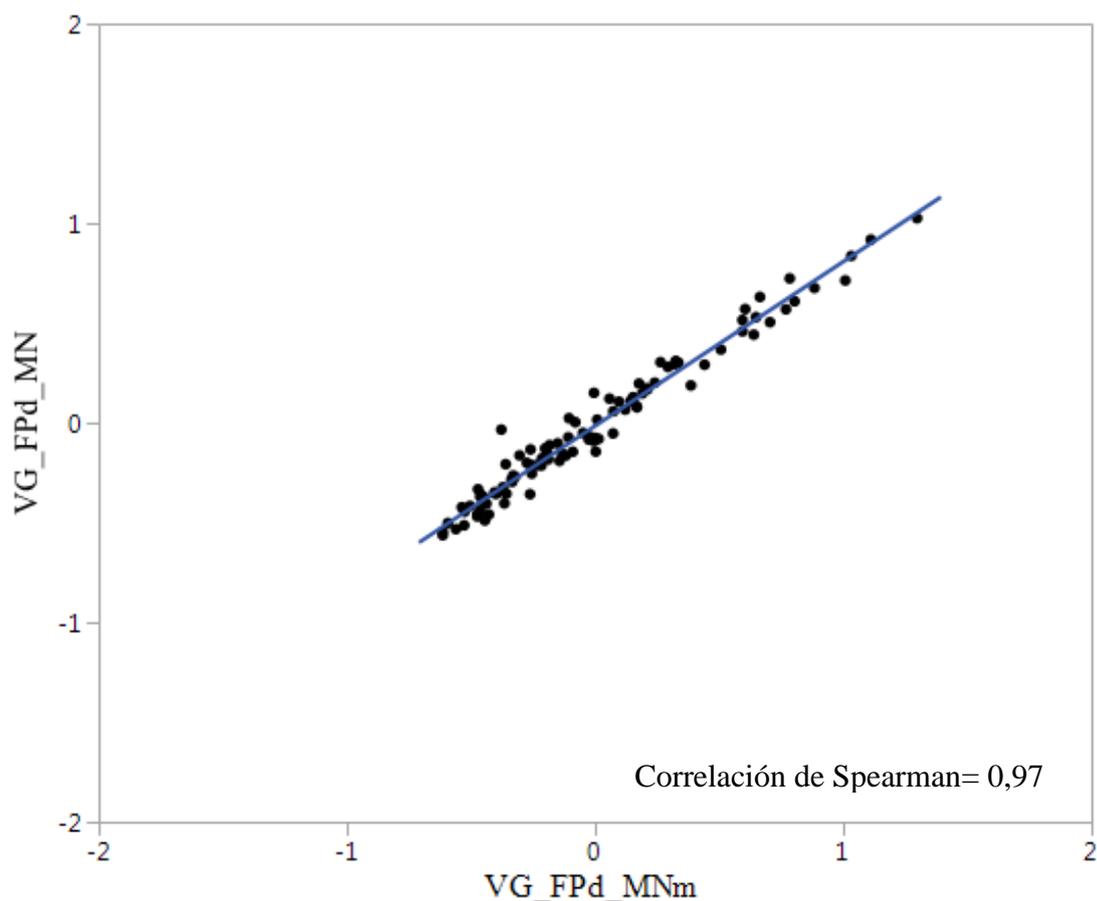


Figura 6: Correlación entre el valor genético directo del modelo normal (VG_FPd_MN) y el valor genético directo del modelo normal con efectos maternos (VG_FPd_MNm) para la facilidad de parto.

3.4 Discusión

En la actualidad, el número de datos sobre la facilidad de parto, uno de los caracteres de más interés para los ganaderos, es bajo, solo un 7,3% de los animales de ARAPARDA inscritos en el libro genealógico el año 2015 disponía de dato de facilidad de parto, y solo un 22% disponía de información sobre el padre.

Tabla 11: Comparación de los diferentes tipos de partos, peso al nacimiento, peso adulto y porcentaje de peso al nacimiento respecto al peso adulto de diferentes razas.

Raza	partos normales (%)	partos difíciles (%)	partos cesárea (%)	peso nacimiento (kg)	peso adulto vaca (kg)	peso nacimiento respecto peso adulto (%)
Retinta	100	0	0	39,95	650	6,1
Avileña	100	0	0	39,25	500	7,8
Asturiana de los Valles	99,3	0,4	0,3	38,50	600	6,4
Salers	99,0	1,0	0	37,75	750	5,1
Pirenaica	98,1	1,7	0,2	40,60	525	7,7
Limusina	97,0	3,0	0	42,05	800	5,2
Parda de Montaña	96,7	2,8	0,5	41,80	650	6,4
Fleckvieh	96,0	4,0	0	40,50	800	5,1
Rubia Gallega	95,0	3,6	1,4	40,50	600	6,7
Blonda de Aquitania	94,0	4,0	2,0	47,60	1100	4,3
Charolesa	92,0	4,0	4,0	46,50	950	4,8

Fuente: ARCA (2015); Guerrier y Leudet (2015)

La raza Parda de Montaña tiene una facilidad de parto (96,7% partos normales) y un PN (41,8 kg) medios, si se compara con otras razas de vacuno de carne habitualmente utilizadas en España (Tabla 11). Como muestra la Tabla 12, existe una cierta confusión

a la hora de definir y clasificar los partos en categorías, por un lado el ICAR propone las 5 categorías referidas en la introducción, mientras que en otros esquemas de mejora se definen 5 categorías distintas a las del ICAR (ARAPARDA; Kluyts et al., 2007), 4 (Gutiérrez et al., 2007) o incluso el ARCA (2015) y Guerrier y Leudet (2015) clasifican los partos en 3 categorías (partos normales sin intervención humana, partos difíciles con intervención y que finalizan con expulsión vaginal del feto, y partos por cesárea que requieren operación quirúrgica).

Para poder comparar la incidencia de los diferentes tipos de partos de este estudio con los registros de partos del ARCA y de Guerrier y Leudet (2015) se asumieron partos por cesárea los partos de la categoría 5, como partos difíciles los partos de las categorías 3 y 4 y como partos fáciles los partos de las categorías 1 y 2, considerando que los partos de la categoría 2 no presentan complicaciones importantes y que en más de un 90% de los casos la vaca podría parir sin la intervención humana.

Tabla 12: Clasificación de la facilidad de parto según diversos autores.

Sistema	Codificación				
	1	2	3	4	5
ICAR	Fácil sin asistencia	Fácil con poca ayuda	Difícil con asistencia mecánica o asistencia de 2 o más personas	Cesárea	Embriotomía
Kluyts et al. (2007)	Sin dificultad	Tirar fácil	Tirar difícil	Cesárea	Presentación anormal
Guerrier y Leudet (2015)	Parto normal	Parto difícil	Cesárea		
ARCA	Parto normal	Parto difícil	Cesárea		
Gutiérrez et al. (2007)	Sin asistencia	Asistencia leve	Asistencia fuerte	Cesárea	
ARAPARDA	Sin ayuda	Asistido sin dificultad	Asistido con dificultad	Asistencia veterinaria	Cesárea

Si se analizan los valores medios de porcentajes de partos difíciles de las razas incluidas en la Tabla 11, se puede observar que la incidencia de partos difíciles aumenta con la media de PN (0,43% por cada kg de PN) pero no con el peso adulto, y las razas con menor ratio peso nacimiento/peso adulto presentaban más partos difíciles y por cesárea.

Naazie et al. (1990) afirman que la variable de mayor importancia en la facilidad de parto es el ratio peso nacimiento/peso adulto y que además, una abertura pélvica reducida tiende a causar un mayor número de partos difíciles. Los problemas de parto en las razas de gran tamaño pueden estar causados por una incompatibilidad feto-abertura pélvica (Gutiérrez et al., 2007), por lo que Cook et al. (1993) y Renand et al. (2010) defienden la selección a favor de la abertura pélvica. La abertura pélvica forma parte de los caracteres evaluados y publicados en las estaciones de testaje de Charolais, siendo la heredabilidad de este carácter del 30% en esta raza (Guerrier et al., 2012). Johanson et al. (2011) afirman que la precisión de la predicción de los valores genéticos de facilidad de parto mejora al incluir en el modelo el peso del ternero al nacimiento, ya que existe una elevada correlación genética entre éste y el porcentaje de partos distócicos (Gutiérrez et al., 2007). De hecho, la selección conjunta a favor de la facilidad de parto y en contra del PN, contemplada en el esquema de mejora de la raza Parda de Montaña (MAGRAMA, 2012), podría explicar la reducción de un 7% de los partos difíciles entre los animales nacidos en 2003 y 2012. Una alternativa interesante a la selección conjunta podría ser la utilización de un modelo recursivo para la evaluación genética de la facilidad de parto que incluyera el PN como covariable, aunque el modelo multicarácter y el modelo recursivo son estadísticamente equivalentes los resultados de la inferencia podrían ser distintos (Varona et al., 2007). Los modelos recursivos permiten la estimación de los efectos genéticos de un carácter sin la influencia fenotípica de otros caracteres (Valente et al., 2013).

El análisis de las encuestas realizadas evidenció que los ganaderos diferenciaban las distintas categorías de facilidad de parto, pero también que existía una gran variabilidad entre rebaños. Esta variabilidad podría ser atribuida a diferencias genéticas entre rebaños, pero también puede ser debida a diferencias en la interpretación por parte de los ganaderos de las clases de facilidad en que se puede incluir un parto. La gran mayoría de los ganaderos no indicaba si el ternero estaba en una posición incorrecta en el momento del parto. Las diferencias de incidencia de terneros en mala posición en las diferentes clases de facilidad en la base de datos estudiada, pese a no ser estadísticamente significativas, indicarían que la posición fetal podría influir en la facilidad de parto, como demuestra el mayor porcentaje de partos con mala posición en las clases 3 y 5. Por tanto, los partos con ternero en mala posición podrían enmascarar el valor genético del carácter facilidad de parto, por lo que para una correcta evaluación

genética sería conveniente incluir la presentación anormal entre los datos que acompañan a la facilidad de parto.

La facilidad de parto fue uno de los caracteres considerados de mayor interés por los productores por su gran repercusión económica. En particular, los partos con complicaciones implican un aumento de costes tanto directos (hasta 250 € por cesárea, valores superiores a los descritos por Kluyts et al., 2007) como indirectos por la pérdida de rendimiento de la vaca, al asociarse a una menor vitalidad de los terneros (Barrier et al., 2012) y a la prolongación del periodo anéstrico de las vacas (Sanz et al., 2004).

Los ganaderos no diferencian en la práctica los partos tipo 1 (no asistidos) y 2 (asistidos) y probablemente muchos partos son asistidos igualmente aunque la vaca podría parir sola. Esto explica por qué durante el periodo en que las vacas están en el puerto aumenta el porcentaje de partos sin ayuda. En las condiciones de puerto, partos que hubieran sido asistidos en establo (clase 2) no lo son, y por tanto son registrados como clase 1. En cuanto a la distribución de los distintos niveles de facilidad de parto de la base de datos de ARAPARDA, la mayor frecuencia de partos distócicos en primíparas coincide con lo obtenido por Meijering (1984) y Rice (1994). El riesgo de distocias en partos a edades tempranas depende en gran medida del desarrollo corporal del animal con respecto a su peso adulto. Así, en primíparas de dos años de edad, Rodríguez-Sánchez et al. (2015) realizaron un ensayo con un lote de animales ligeros (PV al parto = 440 kg) y otro lote de animales pesados (PV al parto = 500 kg), y describieron un 80% de partos que requerían asistencia en el lote de animales ligeros mientras que el porcentaje de partos distócicos en el lote de animales pesados fue de un 16%, lo que atribuían a una desproporción de tamaño materno-fetal. Sería deseable la creación de una línea genética seleccionada por su facilidad de parto para utilizar en novillas, como sucede en el esquema de selección de la raza Charolesa (Herd Book Charolais, 2015) o en otras razas, especialmente si los primeros partos se producen en el entorno de los dos años de edad, por la mayor incidencia de cesáreas y partos difíciles, como indicaron Bene et al. (2013). Por el momento, la baja tasa de registros de la asociación ARAPARDA hace difícil obtener animales con suficiente fiabilidad como para crear líneas claramente definidas de sementales.

El PN más elevado fue el de la categoría 3 de dificultad de parto, de acuerdo con Gutiérrez et al. (2007), lo indicaría que en este caso la asistencia se relacionaría con el tamaño del ternero y a la abertura del canal pélvico, mientras que los partos de

dificultad 4 y 5 dependerían más de la posición del ternero y/o de si son partos gemelares.

En cuanto a las componentes de varianza estimadas, se observó una mayor h^2 de la facilidad de parto con el modelo umbral. Numerosos autores (Hoeschele y Tier, 1995; Varona et al., 1999; Phocas y Laloë, 2003; Veselá et al., 2011) coinciden en que con el modelo umbral se produce una sobrestimación de la h^2 . La correlación entre las estimas genéticas para la facilidad de parto obtenidas en el modelo normal y el modelo umbral fue similar a las obtenidas por Lee et al. (2002) y Phocas y Laloë (2003). Estos autores afirman que el modelo umbral explica mejor la componente genética de un carácter que el modelo normal pudiendo mejorar los errores de predicción (Varona et al., 1999), pero que éste como es el caso, es suficientemente bueno para una evaluación genética correcta.

Los valores obtenidos tanto para la h^2 como para la h^2_{mat} de la facilidad de parto fueron elevados en ambos modelos comparados con la gran variabilidad de resultados encontrados en la bibliografía, desde 0,04 (Jamrozik y Miller, 2014) hasta 0,41 (Bennett y Gregory, 2001) para la h^2 y desde 0,02 (Vostry et al., 2015) hasta 0,23 (Bennett y Gregory, 2001) para la h^2_{mat} . Vanderick et al. (2014) también obtuvieron para las estimas de h^2 y h^2_{mat} de la facilidad de parto unos valores superiores en el modelo umbral que en el modelo normal.

La correlación positiva obtenida en los dos modelos entre los efectos genéticos directos de facilidad de parto y PN indica que un mayor PN está relacionado con un valor mayor del carácter facilidad de parto, lo que se corresponde con mayor porcentaje de partos difíciles, tal como también observaron Jamrozik y Miller (2014). Las correlaciones genéticas negativas entre el valor directo y materno para la facilidad de parto coinciden con lo indicado por Mujibi y Crews (2009), y las observadas en PN están de acuerdo con lo obtenido por El-Saied et al. (2006). No obstante, como indicó Meyer (1992), los resultados de las estimas de las componentes de la varianza con efectos maternos deben tomarse con prudencia, ya que los efectos directos y maternos pueden estar confundidos. La baja correlación entre los valores genéticos directos estimados para la facilidad de parto en el modelo normal con o sin efectos maternos indica la necesidad de analizar con más detalle el carácter facilidad de parto.

Aunque a priori, con los efectos maternos se podría explicar mejor la realidad gracias a la parte de la variabilidad genética que se atribuye al efecto materno, si se utilizan genealogías con una pobre estructura y poco consistentes se deberían tomar con

precaución los valores de las estimas. También sería de interés analizar las relaciones genéticas y ambientales de la facilidad de parto con otros caracteres, como el peso adulto o el diámetro pélvico, para decidir cuál de los dos modelos explica mejor la realidad y puede contribuir a un progreso genético superior.

Por otro lado, visto que los criterios de clasificación de la facilidad de parto no son homogéneos, para corregir la subjetividad entre ganaderos y mejorar la evaluación genética se podría plantear a futuro un modelo multiumbral como proponen Varona et al. (2009). La presencia de umbrales específicos para cada ganadero tendría en cuenta la parte de la variabilidad explicada por el efecto rebaño, por lo tanto este efecto fijo se debería eliminar en el modelo multiumbral.

Finalmente, teniendo en cuenta las propuestas sobre la codificación del carácter facilidad de parto encontradas en la bibliografía (Para poder comparar la incidencia de los diferentes tipos de partos de este estudio con los registros de partos del ARCA y de Guerrier y Leudet (2015) se asumieron partos por cesárea los partos de la categoría 5, como partos difíciles los partos de las categorías 3 y 4 y como partos fáciles los partos de las categorías 1 y 2, considerando que los partos de la categoría 2 no presentan complicaciones importantes y que en más de un 90% de los casos la vaca podría parir sin la intervención humana (Tabla 12) se recomienda el uso de la codificación del ICAR anotando la mala presentación fuera de las clases. Aunque este cambio no contribuye a simplificar el método de registro y la embriotomía se puede considerar un caso particular, poco frecuente en la Parda de Montaña, es interesante hacer las modificaciones de acuerdo a estándares internacionales.

3.5 Conclusiones

La raza Parda de Montaña se sitúa en la media de facilidad de parto y de peso al nacimiento de las razas cárnicas más importantes presentes en España. Es muy importante conseguir una edad al primer parto superior a los dos años con un peso vivo adecuado para reducir la incidencia de partos distócicos. Por otro lado, para una mejora genética más rápida y eficaz sería recomendable promocionar el registro y envío de datos de las explotaciones a la asociación y tener en cuenta los partos distócicos originados por una mala posición del ternero a la hora de registrar los partos para, posteriormente, poder ser excluidos de las evaluaciones genéticas. Las altas correlaciones encontradas entre las estimas de la facilidad de parto procedentes del modelo normal y umbral indican que ambos son válidos para evaluar este carácter. En

cambio el modelo normal con efectos maternos proporciona estimas diferentes que el modelo sin efectos maternos por lo que es necesario evaluar su uso en el programa de mejora de la raza Parda de Montaña.

3.6 Agradecimientos

El presente trabajo ha sido financiado por los proyectos INIA (RZP2009-005, RTA2010-057RTA2013-059, RTA2014-00038). Los autores desean agradecer al personal de la granja experimental por su apoyo técnico y a los ganaderos que han colaborado en la recogida de la información.

3.7 Referencias bibliográficas

ARCA, 2015. Programa de Mejora Parda de Montaña. Disponible en <http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/razas-ganaderas/> (27 octubre 2015).

Barrier, A.C., Dwyer, C.M., Macrae, A.I., Haskell, M.J., 2012. Survival, growth to weaning, and subsequent fertility of live-born dairy heifers after a difficult birth. *J. Dairy Sci.* 95, 6750–6754.

Bene, S., Polgar, J.P., Szabo, F., 2013. Some effects on birth weight of calves and calving difficulty of cows. 2. The results of milking cattle in Hungary. *Magyar Allatvosok Lapja* 135, 390–399.

Bennett, G.L., Gregory, K.E., 2001. Genetic (co)variances for calving difficulty score in composite and parental populations of beef cattle: I. Calving difficulty score, birth weight, weaning weight, and postweaning gain. *J. Anim. Sci.* 79, 45–51.

Cervantes, I., Gutiérrez, J.P., Fernández, I., Goyache, F., 2010. Genetic relationships among calving ease, gestation length, and calf survival to weaning in the Asturiana de los Valles beef cattle breed. *J. Anim. Sci.* 88, 96–101.

Cook, B.R., Tess, M.W., Kress, D.D., 1993. Effects of selection strategies using heifer pelvic area and sire birth weight expected progeny difference on dystocia in first-calf heifers. *J. Anim. Sci.* 71, 602–607.

El-Saied, U.M., Fuente, L.F. de la, Rodríguez, R., Primitivo, F.S., 2006. Genetic parameter estimates for birth and weaning weights, pre-weaning daily weight gain and three type traits for Charolais beef cattle in Spain. *Span. J. Agric. Res.* 4, 146–155.

- Guerrier, J., Fouilloux, M.N., Brunet, J.L., Delpéuch, A., Havy, A., Venot, E., 2012.** Ouverture Pelvienne : des paramètres génétiques aux index de sélection en station. *Rencontre Rech. Sur Rumin.* 19, 85–88.
- Guerrier J, Leudet O., 2015.** Résultats contrôle des performances bovins allaitants. France - Campagne 2014, Institut de l'Élevage, Compte rendu n° 0015203017. Département GEP - Service Gestion et Sélection des Populations.
- Gutiérrez, J.P., Goyache, F., Fernández, I., Alvarez, I., Royo, L.J., 2007.** Genetic relationships among calving ease, calving interval, birth weight, and weaning weight in the Asturiana de los Valles beef cattle breed. *J. Anim. Sci.* 85, 69–75.
- Herd Book Charolais, 2015.** Les Programmes de Sélection. Disponible en <http://charolaise.fr/la-selection/les-programmes-de-selection/> (11 enero 2016).
- Hoeschele, I., Tier, B., 1995.** Estimation of variance components of threshold characters by marginal posterior modes and means via Gibbs sampling. *Genet. Sel. Evol.* 27, 519–540.
- Holland, M.D., Speer, N.C., LeFever, D.G., Taylor, R.E., Field, T.G., Odde, K.G., 1993.** Factors contributing to dystocia due to fetal malpresentation in beef cattle. *Theriogenology* 39, 899–908.
- ICAR, 2014.** International Committee for Animal Recording, Recording Guidelines. General Assembly held on May 2014, Berlin, Alemania.
- Jamrozik, J., Miller, S.P., 2014.** Genetic evaluation of calving ease in Canadian Simmentals using birth weight and gestation length as correlated traits. *Livest. Sci.* 162, 42–49.
- Johanson, J.M., Berger, P.J., Tsuruta, S., Misztal, I., 2011.** A Bayesian threshold-linear model evaluation of perinatal mortality, dystocia, birth weight, and gestation length in a Holstein herd1. *J. Dairy Sci.* 94, 450–460.
- Kluyts, J.F., Naser, F.W., Bradfield, M.J., 2007.** Proposed economic selection indices for the Simmentaler breed in South Africa. *South Afr. J. Anim. Sci.* 37, 122–131.
- Lee, D., Misztal, I., Bertrand, J.K., Rekaya, R., 2002.** National evaluation for calving ease, gestation length and birth weight by linear and threshold model methodologies. *J. Appl. Genet.* 43, 209–216.
- Legarra, A., Varona, L., Lopez de Maturana, E., 2008.** TM Threshold Model <http://snp.toulouse.inra.fr/~alegarra/>.
- MAGRAMA, 2012.** Programa de Mejora de la Raza Bovina Parda de Montaña. Disponible en <http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/zootecnia/razas->

ganaderas/razas/catalogo/ autoctona-fomento/bovino/parda-montana/.aspx (15 enero 2016).

Meijering, A., 1984. Dystocia and stillbirth in cattle — A review of causes, relations and implications. *Livest. Prod. Sci.* 11, 143–177.

Meyer, K., 1992. Variance components due to direct and maternal effects for growth traits of Australian beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 31, 179–204.

Mujibi, F.D.N., Crews, D.H., 2009. Genetic parameters for calving ease, gestation length, and birth weight in Charolais cattle. *J. Anim. Sci.* 87, 2759–2766.

Naazie, A., Makarechian, M.M., Berg, R.T., 1990. Factors influencing calving difficulty in beef heifers. *J. Anim. Sci.* 67, 3243–9.

Phocas, F., Laloë, D., 2003. Evaluation models and genetic parameters for calving difficulty in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 81, 933–938.

Renand, G., Vinet, A., Krauss, D., Saintilan, R., 2010. Relation entre l'ouverture pelvienne et l'aptitude génétique au vêlage en race bovine Charolaise. *Rencontre Rech. Sur Rumin.* 17, 451–454.

Rice, L., 1994. Dystocia-related risk factors. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 10, 53–68.

Rodríguez-Sánchez, J.A., Sanz, A., Tamanini, C., Casasús, I., 2015. Metabolic, endocrine, and reproductive responses of beef heifers submitted to different growth strategies during the lactation and rearing periods. *J. Anim. Sci.* 93, 3871.

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. *Livest. Prod. Sci.* 86, 179–191.

Valente, B.D., Rosa, G.J.M., Gianola, D., Wu, X.-L., Weigel, K., 2013. Is structural equation modeling advantageous for the genetic improvement of multiple traits? *Genetics* 194, 561–572.

Vanderick, S., Troch, T., Gillon, A., Glorieux, G., Gengler, N., 2014. Genetic parameters for direct and maternal calving ease in Walloon dairy cattle based on linear and threshold models. *J. Anim. Breed. Genet.* 131, 513–521.

Varona, L., Misztal, I., Bertrand, J.K., 1999. Threshold-Linear Versus Linear-Linear Analysis of Birth Weight and Calving Ease Using an Animal Model: II. Comparison of Models. *J. Anim. Sci.* 77, 2003–2007.

- Varona, L., Moreno, C., Altarriba, J.,** 2009. A model with heterogeneous thresholds for subjective traits: fat cover and conformation score in the Pirenaica beef cattle. *J. Anim. Sci.* 87, 1210–1217.
- Varona, L., Sorensen, D., Thompson, R.,** 2007. Analysis of Litter Size and Average Litter Weight in Pigs Using a Recursive Model. *Genetics* 177, 1791–1799.
- Veselá, Z., Vostrý, L., Šafus, P.,** 2011. Linear and linear-threshold model for genetic parameters for SEUROP carcass traits in Czech beef cattle. *Czech J. Anim. Sci.* 56, 414–425.
- Vostry, L., Milerski, M., Krupa, E., Vesela, Z., Vostra-Vydrova, H.,** 2015. Genetic relationships among calving ease, birth weight and perinatal calf survival in Charolais cattle. *Anim. Sci. Pap. Rep.* 33, 233–242.
- Wulfhorst, J.D., Ahola, J.K., Kane, S.L., Keenan, L.D., Hill, R.A.,** 2010. Factors affecting beef cattle producer perspectives on feed efficiency. *J. Anim. Sci.* 88, 3749–3758.

**4 CAPÍTULO II - THE MILK YIELD OF DAMS
AND ITS RELATION TO DIRECT AND
MATERNAL GENETIC COMPONENTS OF
WEANING WEIGHT IN BEEF CATTLE**

Este capítulo dará lugar a la siguiente publicación: X. Cortés-Lacruz, I. Casasús, R. Revilla, A. Sanz, M. Blanco, D. Villalba. *The milk yield of dams and its relation to direct and maternal genetic components of weaning weight in beef cattle*. Aceptado para su publicación en *Livestock Science*.

Abstract

Cow milk yield is a critical component for the growth of the calves in the preweaning period. The genetic correlation between direct weaning weight and milk yield traits may cause a decrease in the maternal ability of cows when they are selected for the direct weaning weight of the calf. The objective of this study was to analyse the genetic and environmental components of some traits of interest in beef cattle breeds managed in mountain conditions by analysing the actual cumulative milk yield at 150 days in milk obtained by milking (MY150) and the weight at birth (BW), at 90 days (W90), at weaning (W150), and mature weight (MW). Genetic evaluations were conducted using field data from 2,679 calves born from 553 dams of Parada de Montaña beef cattle breed. The variances, genetic (both direct and maternal) and phenotypic, were estimated by a multi-trait animal model. Milk yield was correlated with maternal components of calf weight at 90 days and 150 days (genetic correlations of 0.59 and 0.48, respectively) but also correlated with a direct genetic component of weights. The maternal heritability values for W90 and W150 were 0.02 (0.005) and 0.009(0.004) respectively. The estimates of the direct-maternal genetic correlation for W90 and W150 were -0.13 (0.11) and -0.34 (0.16), respectively. Environmental effects, especially the sex of calf and order of dam calving for direct genetic effects and energy level of cow and body condition at calving for maternal effects, should be included in the evaluation models to obtain a proper estimation of genetic parameters for beef cattle evaluation. Genetic milk yield explains half the variation of maternal effects. The prediction of milk yield will be better using maternal effects at 90 days than at 150 days. The combined index (maternal and direct) for the trait weight at 150 days yielded the highest economic response increasing the direct effect indirectly without decreasing the maternal effect at 150 days. **Keywords:** Parada de Montaña, milk quantity, preweaning growth, maternal heritability, mature weight.

4.1 Introduction

In suckler cattle production systems, the weaning weight of the calves is the main source of farm income (Åby et al., 2012). Consequently, it is included as a selection

criteria in most beef cattle selection schemes. At the genetic level, weaning weight depends on both the genetic potential of the calf (direct effect) and the effect of the dam (maternal effect). The most important maternal effects influencing calf growth from conception until weaning are the uterine environment during pregnancy, the transfer of antibodies through colostrum, the maternal ability of the cow to protect the calf, and the milk yield (Quintanilla and Piedrafita, 2000).

Most breeding programmes in beef cattle include direct and maternal effects in the evaluation model of weaning weight. Selecting for direct or maternal genetic values will have consequences on correlated traits depending on the correlation between different components and traits. Miller and Wilton (1999) found a negative correlation between the maternal environment of the dam and the genetic value of her calf. The negative genetic correlation (r_g) between direct and maternal genetic effects may indicate the antagonistic effects of genes related to growth and maternal ability (Lopes et al., 2013). Selection for weaning weight may have unintended consequences. Although cow milk yield is phenotypically significantly correlated with calf weaning weight at different weaning ages (MacNeil and Mott, 2006), the genetic correlation between both traits can be negative (McHugh et al., 2014). This antagonism may cause a decrease in the maternal ability of cows if weaning weight is considered as the only selection criterion (Miller and Wilton, 1999). However, reliable data on cow milk yield are rare in beef breeds because they are not usually milked, and this trait is only indirectly estimated from calf growth rates (Liu et al., 2015), which are also associated with other aspects such as health or management.

Calf growth in extensive beef cattle systems, especially when based on rangelands or dry mountain areas, may be even more dependent on dam milk in some periods due to the low forage availability, pasture quality, and the unfeasibility of calf supplementation.

The objective of this study was to analyse the genetic and environmental component of selected traits in a beef cattle breed managed in mountain conditions. We analysed calf birth and weaning weights and their correlation with actual milk yield of their dams and with other traits such as weight at 90 days of age and mature weight.

4.2 Materials and methods

4.2.1 *Animals and management*

Data were collected at the La Garcipollera Research Station (Spain, 42° 37' N; 0° 30' W; 945 m above sea level), in the mountain area of the Southern Pyrenees (Spain), over 17 years (1989-2012) in Parda de Montaña beef cattle breed. This breed is a suckler cattle breed that is widespread throughout northern Spain and that came from the ancient Brown Swiss and its crosses with local breeds. It has been used as a dual purpose milk-beef breed (Álvarez-Rodríguez et al., 2010), but in the past few decades, it has been selected for only beef production and mothering abilities (calving ease and weaning weight). The maturing rate of this breed is considered intermediate between highly specialized (late-maturing beef breeds) and low meat producers (early-maturing hardy breeds) (Albertí et al., 2005).

The management of the experimental herd of Parda de Montaña cattle consisted of housing during the winter, grazing on high mountain pastures (1500-2200 m above sea level) during the summer and grazing on valley meadows and forest pastures (945-1500 m above sea level) during the spring and autumn. For reproductive management, the age at first calving ranged from 2 to 4 years in the database. There were two calving seasons, spring (March to May) and autumn (September to November). The calves were raised either with free access to their dams (Free) or with restricted access (Restricted) twice a day for approximately 30 minutes each (Álvarez-Rodríguez et al., 2010). Depending on the trial, the calves did or did not receive concentrates *ad libitum* during the suckling phase (concentrate supplementation). The calves were weaned at around five (autumn-born calves) or six months of age (spring-born calves) (Villalba et al., 2000). Further details of management can be found in Casasús et al. (2002).

4.2.2 *Data collection and categorization*

The database was constructed with records registered from 2,679 calves born from 553 dams (Table 13). Data come both from usual records of farm (BW, W150) and from records obtained in controlled trials (W90, MY150, MW). A pedigree with 4,307 animals was used, of which 311 belonged to the base population. Calf birth weight (BW) was recorded in the first 24 hours after birth. Weight at 90 days of age (W90) was calculated by linear regression of weights recorded from birth to 105 days (3 to 6 records per calf), and weight at 150 days, considered as weaning weight, was calculated

by linear regression of data recorded from 105 to 165 days (5 to 11 records per calf). Mature weight (MW), recorded only for females, was the weight of 8-year old adult cows estimated from a B-spline function including three internal knots located at 365, 700, and 1,000 days of age, and two external knots located at 0 and 3,000 d with random regression coefficients in each knot (Cano et al. ,2016).

Table 13: Descriptive statistics for calf birth weight (BW), weight at day 90 (W90), weaning weight (W150), cow mature weight (MW) and accumulated dam milk yield at 150 days (MY150).

	Traits				
	BW	W90	W150	MW	MY150
N° of records	2516	609	2253	1455	529
N° of cows with progeny records	448	218	321	346	147
N° of sires with progeny records	123	62	90	105	65
Mean (kg)	42.4	121	169	618	1226
Standard deviation (kg)	6.82	18.1	27.9	36.5	340.2

The dam milk yield was estimated by mechanical milking with oxytocin injection, according to the technique of Le Du et al. (1979). Between two and five daily records per lactation were used to estimate the accumulated milk yield at 150 days (MY150) using the method of Fleischmann (ICAR, 2014).

All cows with milk yield recorded were scored for body condition at calving (BCS), based on the scale from 0 to 5 of Lowman et al. (1976), and classified according to terciles into three BCS classes (low <2.43, medium 2.44-2.61, or high >2.62). The dietary energy supply during the lactation phase was available on a pen basis, and the cows were classified into three classes according to energy intake terciles: low <102 MJ of metabolizable energy, medium 103-109 MJ, and high >110 MJ.

4.2.3 Statistical Analyses

Preliminary analyses were carried out to determine the significance of the fixed environmental effects, which were later included in the model on all studied variables using the GLM procedure of SAS® software (SAS Inst. Inc., Cary, NC). For the weight

traits (BW, W90, W150, MW), the effects of calf sex, dam parity, the age of dam at first calving, and year-season were evaluated. In the case of dam milk yield (MY150), the significance of the aforementioned effects and that of calf suckling management and calf concentrate supplementation were examined.

The variance components and genetic and phenotypic parameters were estimated using the software VCE6 (Groeneveld et al., 2010) by a multi-trait animal model. The random animal effects considered in the model were d_{BW} , d_{W90} , d_{W150} , m_{BW} , m_{W90} , m_{W150} , d_{MY150} , and d_{MW} . The d_{BW} , d_{W90} , and d_{W150} were the calves' contributions to BW, W90, and W150, respectively, of their genetic potential for growth often referred to as direct effects. The m_{BW} , m_{W90} , and m_{W150} were the genetic components of the environment that the dam provided for calf BW, W90, and W150 weights, respectively, often referred to as maternal effects. Finally, d_{MY150} and d_{MW} were the animal genetic potential for milk yield and mature weight, respectively.

For each trait, the model included the random animal effects, the environmental fixed effects and the residual effects. The model used for the weight traits (BW, W90, W150, MW) can be represented as:

$$y_{ijklmno} = \mu + S_i + O_j + A_k + YS_l + d_m + m_n + PE_o + e_{ijklmno}$$

where $y_{ijklmno}$ = studied weight trait, μ = overall mean, S_i = sex effect (Female, Male), O_j = dam parity effect (1, 2, >2), A_k = age (years) at first calving effect (<2.5, 2.5-3, >3), YS_l = year-season random effect, d_m = additive genetic effect of the calf associated with observation $y_{ijklmno}$, m_n = additive genetic effect of the dam associated with observation $y_{ijklmno}$, PE_o = permanent environment effect. $e_{ijklmno}$ = residual effect.

The model used for the milk yield (MY150) can be represented as:

$$y_{ijklmnopq} = \mu + S_i + C_j + M_k + O_l + CxE_m + A_n + YS_o + d_p + PE_q + e_{ijklmnopq}$$

where $y_{ijklmnopq}$ = MY150, μ = overall mean, S_i = calf sex effect, C_j = calf concentrate supplementation effect (Yes, No), M_k = calf suckling management effect (Free, Restricted), O_l = parity effect, CxE_m = interaction between cow body condition and cow dietary energy intake effect, A_n = age at first calving effect, YS_o = year-season random effect, d_p = additive genetic effect of the cow associated with observation $y_{ijklmnopq}$, PE_q = permanent environment effect, $e_{ijklmnopq}$ = residual effect.

The variance-covariance matrix (G) used was as follows, where A is the pedigree matrix:

$$G = \sigma^2 \begin{bmatrix} \sigma_{u_{BW}}^2 & \sigma_{u_{BW},u_{W90}} & \sigma_{u_{BW},u_{W150}} & \sigma_{u_{BW},u_{MW}} & \sigma_{u_{BW},u_{MY150}} & \sigma_{u_{BW},u_{BWm}} & \sigma_{u_{BW},u_{W90m}} & \sigma_{u_{BW},u_{W150m}} \\ \sigma_{u_{W90}}^2 & \sigma_{u_{W90},u_{W150}} & \sigma_{u_{W90},u_{MW}} & \sigma_{u_{W90},u_{MY150}} & \sigma_{u_{W90},u_{BWm}} & \sigma_{u_{W90},u_{W90m}} & \sigma_{u_{W90},u_{W150m}} \\ \sigma_{u_{W150}}^2 & \sigma_{u_{W150},u_{MW}} & \sigma_{u_{W150},u_{MY150}} & \sigma_{u_{W150},u_{BWm}} & \sigma_{u_{W150},u_{W90m}} & \sigma_{u_{W150},u_{W150m}} \\ \sigma_{u_{MW}}^2 & \sigma_{u_{MW},u_{MY150}} & \sigma_{u_{MW},u_{BWm}} & \sigma_{u_{MW},u_{W90m}} & \sigma_{u_{MW},u_{W150m}} \\ \sigma_{u_{MY150}}^2 & \sigma_{u_{MY150},u_{BWm}} & \sigma_{u_{MY150},u_{W90m}} & \sigma_{u_{MY150},u_{W150m}} \\ \sigma_{u_{W90m}}^2 & \sigma_{u_{W90m},u_{W150m}} \\ \sigma_{u_{W150m}}^2 \end{bmatrix} \otimes A$$

Estimated marginal means obtained from the solution of the model for fixed effect levels were compared with a t-test with a significance level of 5%.

We defined weaning weight at 150 days (actual age at weaning of farms) as the selection goal. Different scenarios of index of selection, based on phenotypic weights at 90 and 150 days of age, and considering direct and/or maternal effects were calculated according to Van Vleck (1970). The correlated response was obtained based on the estimated co-variance matrix.

4.3 Results and discussion

4.3.1 Environmental effects

The estimates of fixed effects for calf weight traits and dam milk yield are presented in Table 14 and Table 15, respectively. All the weight traits were affected by calf sex and parity of the dam ($P < 0.05$); however, no differences were found among the different categories of cow's age at first calving ($P > 0.05$). Males were heavier than females throughout lactation, as their birth weight was 2.8 kg higher ($P = 0.035$), and they differed by 5.4 kg at 90 days ($P = 0.002$), and by 8.4 kg at 150 days ($P = 0.028$). Similarly, Fina et al. (2013) found higher birth weights in males of Bruna dels Pirineus breed, and Fries and Ruvinsky (1999) reported a sex influence on birth weight and W150 in beef cattle breeds.

Table 14: Fixed effects estimates and standard error in parentheses for birth weight (BW), weight at 90 days (W90), weaning weight (W150) and mature weight (MW).

Effect	Level	BW	W90	W150	MW ¹
Sex	Female	42.1 (0.39) ^a	117.8 (1.37) ^a	166.7 (1.70) ^a	-
	Male	44.9 (0.37) ^b	123.2 (1.28) ^b	175.1 (1.59) ^b	-
Dam calving order	1	42.1 (0.36) ^a	115.3 (2.49) ^a	167.1 (1.81) ^a	602 (2.6) ^a
	2	43.1 (0.35) ^a	118.9 (1.61) ^a	171.8 (1.54) ^{ab}	613 (2.8) ^b
	>2	45.5 (0.10) ^b	123.2 (1.27) ^b	173.9 (0.43) ^b	625 (1.8) ^c
Age at first calving	<2.5	41.4 (0.8)	121.4 (3.1)	167.2 (5.4)	606 (9.1)
	2.5-3	41.8 (0.7)	122.7 (2.8)	174.9 (4.8)	609 (7.6)
	>3	42.5 (0.5)	131.0 (2.0)	168.9 (3.3)	618 (8.6)

¹Only females in MW analysis

Estimates with the same superscript within effect did not differ significantly ($P < 0.05$).

Table 15: Fixed effects estimates and standard error in parentheses for milk yield at 150 days (MY150).

Effect	Level	MY150 ¹
Calf sex	Female	1143 (29)
	Male	1164 (16)
Calf concentrate supplementation	No	1143 (12)
	Yes	1163 (39)
Calf suckling management	Free	1165 (33)
	Restricted	1141 (13)
Calving order	1	1005 (66) ^a
	2	1142 (58) ^{ab}
	>2	1312 (52) ^b
Age at first calving	<2.5	1131 (8) ^a
	2.5-3	1151 (7) ^{ab}
	>3	1162 (8) ^b

¹Estimates with the same superscript within effect did not differ significantly ($P < 0.05$).

The dam milk yield was estimated as the accumulated production during lactation, and the individual monthly data were not considered separately, because Cortés et al. (2015) obtained high correlations (>0.86) between monthly milk yield traits during the first 5

months of lactation. The MY150 was not influenced by calf sex, suckling management or concentrate supplementation, but it differed significantly depending on the parity and the age of the cow at first calving.

Calf supplementation did not affect MY150 of the cows, which suggests that concentrate consumption in beef calves is not sufficient to alter their suckling behaviour; therefore, it does not affect the milk production of their dams (Barros et al., 2015). In the current study, calf suckling management did not affect the milk yield, similar to previous studies conducted in the same condition in this breed (Sanz et al., 2003). However, Quintans et al. (2010) reported that increased the suckling frequency in calves with free access to their dams resulted in increased milk yield. Calf sex did not affect the milk yield, which corroborates with the results observed by Forster et al. (2010) in Aberdeen Angus cows. However, these results were contrary to those of Albertini et al. (2012) in Angus breed, who reported higher milk intake and suckling frequency in male beef calves. Robison et al. (1978) concluded that the milk yield of beef cows was influenced more by calf size than by calf sex.

The parity affected MY150 ($P < 0.05$), which was higher in multiparous than in primiparous cows, with the values of second-calving cows being intermediate. Likewise, Pimentel et al. (2006) reported lower milk yields in Hereford primiparous than in multiparous cows. These results are caused by large metabolic differences in primiparous and multiparous cows, as the former require nutrients for their continued growth, which cannot be invested in milk production (Wathes et al., 2007). Neville et al. (1974) reported that calves born from cows older than 5 years received more milk and were heavier at weaning than those born from younger cows in Hereford breed. The age at first calving affected MY150, which was higher in 3-year-old than in 2.5-year-old primiparous cows. This was in agreement with Kratochvilova (2001), who reported lower milk production in cows that calved for the first time at two years of age than when they were older than three years.

Figure 7 shows the results of MY150 in relation to BCS at calving and dietary energy intake during lactation. Both BCS and a high dietary energy intake affected milk production. Energy intake seemed to have more impact than BCS at calving on milk yield. For cows with a medium energy intake, the loss in MY (from high to low BCS) was 160 kg (13% of the mean), whereas for cows with medium BCS, the loss in MY (from high to low energy intake) was 290 kg (23% of the mean). These results concur with those obtained by McParland et al. (2015) in dairy cattle. Conversely, BCS and

energy level had no effect on milk yield measured by the weigh-suckle-weigh method in Charolais cows (De La Torre et al., 2015). The body condition score ranges could be very different between observers making it difficult to compare between experiments. Nevertheless, Sanz et al. (2004) reported relevant effects of similar BCS classes on reproduction traits within the same database in Parda de Montaña breed. The effect of diet and BCS on milk yield could also be modulated by the adaptive abilities of cows to allocate energy to different functions, which could depend on breed and milk potential.

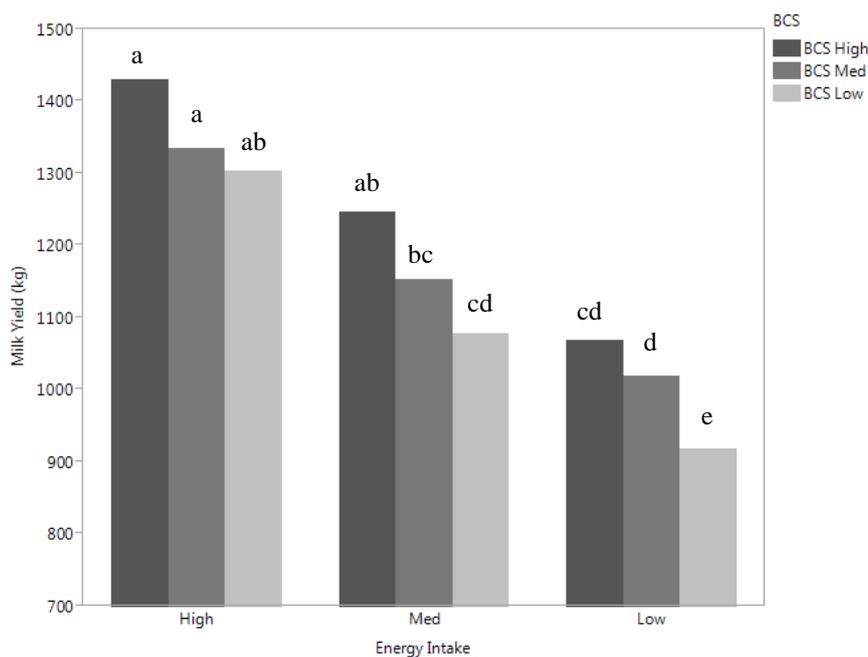


Figure 7: Accumulated milk yield during lactation (MY150) according to dietary energy intake and body condition score (BCS) at calving.

Estimates with the same superscript did not differ significantly ($P < 0.05$).

4.3.2 Direct and maternal genetic effects.

Table 16 presents the heritability estimates of the direct and maternal additive genetic effects for all traits and their correlation. The heritability of direct BW was high compared with the results from Fina et al. (2013) in Bruna dels Pirineus beef cattle breed (0.30). The estimates of heritability for W90 and W150 were low compared with Morales et al. (2013), who reported values of 0.37 and 0.58 for heritability of W120 and W180, respectively, in the Retinta breed.

Maternal heritability estimate for BW was high compared with Mujibi and Crews (2009) in Charolais breed (0.14). Maternal heritability estimate was lower for W150 than for W90. These estimates were lower than results from Morales et al. (2013) and

confirms that the dependence of calf growth on maternal effects, especially dam milk, decreases as animal age increases.

Table 16: Parameter estimates and standard error in parentheses for calf birth weight (BW), weight at 90 days (W90), weaning weight (W150), cow mature weight (MW) and dam milk yield at 150 days (MY150).

Trait	h^2	m^2	$r(d,m)$
BW	0.46 (0.02)	0.005 (0.002)	0.23 (0.23)
W90	0.25 (0.02)	0.023 (0.005)	-0.13 (0.11)
W150	0.15 (0.01)	0.009 (0.004)	-0.34 (0.16)
MW	0.22 (0.01)	-	-
MY150	0.12 (0.02)	-	-

h^2 = direct heritability; m^2 = maternal heritability; $r(d,m)$ = correlation between direct and maternal genetic effects.

The estimates of heritability for MY150 were low compared with MacNeil and Mott (2006) in Hereford breed. The heritability for MW was lower than the estimates obtained by Meyer (1995) (0.47) in Hereford breed. Nonetheless, the estimation of heritability for MW in this study should be treated carefully, because it comes from experimental herd where cows were subjected to extreme nutritional managements in some of the trials. Moreover, the environmental effect was probably higher than in commercial farms.

The correlations between direct and maternal effects estimated in this study for BW, W90, and W150 were 0.23, -0.13, and -0.34, respectively. These results were contrary for BW compared with Mujibi and Crews (2009) (-0.27), but for W90 and W150, they were similar to results from other studies conducted with similar beef cattle breeds, with a correlation of -0.34 in Bruna dels Pirineus (Quintanilla et al., 1999).

Meyer (1997) reported that the estimation of covariance components of maternal effects is complex because direct and maternal effects can be confounded. In the same direction, the estimation is highly model dependent. In our data, when some of the fixed environmental effects were not included in the model, the genetic correlation between direct and maternal effects was positive (results not shown).

4.3.3 Genetic and phenotypic correlations

Table 17 presents the genetic and residual correlations among the direct and maternal effects of all traits. The estimates of the genetic correlations of BW with W90 and W150 were in the range of literature estimates. Vargas et al. (2014) reported direct genetic effect correlation for birth weight and weaning weight of 0.57 in Colombian multibreed beef cattle population. The estimates of the BW and MY genetic correlation was 0.30, which was contrary to the reported results of Lee and Pollak (2002) in Korean beef cattle (-0.09). The estimates of the genetic correlation between BW and MW was moderately high and positive and higher than the value (0.35) reported by Berry and Crowley (2013). For maternal effects, the estimates of genetic correlations between BW and W90_m, and BW and W150_m were negative although minuscule, which was in agreement with the results of Pedrosa et al. (2014) for birth weight and maternal weaning weight effect (-0.13).

Table 17: Direct genetic correlations (above diagonal) and residual correlations (below diagonal) with standard error in parentheses for birth weight (BW), weight at 90 days (W90), weaning weight (W150), milk yield at 150 days (MY150), mature weight (MW), maternal weight at 90 days (W90_m) and maternal weaning weight (W150_m).

Trait	BW	W90	W150	MW	MY150	BW _m	W90 _m	W150 _m
BW		0.30 (0.03)	0.26 (0.04)	0.60 (0.04)	0.30 (0.08)	0.23 (0.23)	-0.16 (0.12)	-0.13 (0.18)
W90	0.56 (0.02)		0.97 (0.01)	0.81 (0.03)	0.58 (0.05)	-0.12 (0.27)	-0.13 (0.11)	-0.20 (0.17)
W150	0.30 (0.02)	0.72 (0.02)		0.83 (0.03)	0.54 (0.06)	-0.32 (0.27)	-0.24 (0.12)	-0.34 (0.16)
MW	0.10 (0.02)	0.27 (0.02)	0.22 (0.02)		0.22 (0.06)	-0.30 (0.23)	-0.58 (0.11)	-0.61 (0.15)
MY150	-0.28 (0.04)	-0.15 (0.03)	-0.08 (0.02)	0.09 (0.03)		0.25 (0.41)	0.59 (0.12)	0.48 (0.22)
BW _m							0.69 (0.17)	0.80 (0.19)
W90 _m								0.98 (0.05)

The genetic correlation for direct effects of milk yield (MY150) and weaning weight (W150) were moderate and positive. Lee and Pollak (2002) in Korean beef cattle breeds and Miller and Wilton (1999) in multibreed beef cattle have been reported negative and very low correlations. The genetic correlation for W90 and W150 and BWm were similar than results obtained by Gutiérrez et al. (2007). The genetic correlations of weights in early life (W90 and W150) with mature weight (MW), 0.81 and 0.83, respectively, were similar to the estimates of Meyer (1995) (0.66) in the Hereford breed between weaning weight and mature weight. This result may be attributed to the fact that the MW of this study is an estimate from the cow growth curve; therefore, some environmental effects have not been considered in this theoretical function. The estimates of the genetic correlation between MY150 and MW (0.22) were similar to those observed by Liinamo et al. (2001) (0.15) in Finnish Ayrshire cattle.

The genetic correlations between milk (MY150) and maternal effects on weights were positive and moderate. In a multibreed beef cattle herd, Miller and Wilton (1999) and MacNeil and Mott (2006) obtained high genetic correlations of 0.76 and 0.80, respectively, between both variables. Their results indicate that maternal weight effect genetic values are good predictor of a cow's potential for milk yield. The estimates of genetic correlation for W90 and W150 were similar to those obtained by Morales et al. (2013) (0.80) in the Retinta breed. The estimates of W90m and W150m were similar to those obtained by Morales et al. (2013) (0.88) for the genetic correlation between W120m and W180m. The estimates of genetic correlations between BWm and W90m and W150m were low compared with Gutiérrez et al. (2007) for genetic correlation between maternal birth weight and maternal weaning weight (0.24) in Asturiana de los Valles breed.

The permanent environmental (c^2) effects for BW, W90, W150, and MY150 were 0.080 (0.010), 0.061 (0.010), 0.050 (0.008), and 0.018 (0.011), respectively. These results for W90 and W150 were similar to results reported by Quintanilla et al. (1999) for weaning weight (0.047). Estimate of repeatability for MY150 (0.14) was lower than results reported by MacNeil and Mott (2006) (0.39).

Incomes of Parda de Montaña producers are derived from the price of calves at weaning. Because the genetic correlations between the direct and maternal effects obtained in this breed are negative for weaning weight, the models of evaluation should include both direct and maternal effects. However, selection could be based only on direct or maternal genetic effects or on an index combining direct and maternal effects.

In addition, selection could be based on weights at the early age of calves (i.e., W90) or on weights registered close to the age of actual weaning (i.e., W150). Early weights were more related with dam milk yield because the concentrate and forage consumption by the calf was very low (Blanco et al., 2008). However, in the late ages, it is more important to consider the growth capacity of the calf based on forage and concentrate consumption. In fact, in our results, the maternal genetic effect of W90m was more related with milk yield than the maternal genetic effect of W150m was.

Table 18: Correlated response expected (per unit of selection intensity) after selection based on own records with different selection criteria.

Trait (in kg)	Selection criteria					
	Weight at 150 day			Weight at 90 day		
	Direct	Maternal	Index direct and maternal	Direct	Maternal	Index direct and maternal
Direct W90	1.05	-0.11	0.94	4.50	-0.11	4.39
Direct W150	4.05	-0.21	3.84	1.57	-0.12	1.45
Milk Yield 150d	2.27	0.49	2.76	3.15	0.97	4.12
Maternal W90	-0.08	0.16	0.08	-0.11	0.41	0.31
Maternal W150	-0.21	0.24	0.03	-0.16	0.24	0.08
Mature weight	1.33	-0.24	1.09	1.68	-0.36	1.31
Economic ¹	11.52	0.10	11.61	4.22	0.36	4.59

¹ Assuming equal economic value (3€/kg) of direct and maternal values.

Table 18 presents the correlated response, based on the estimated co-variance matrix, when selecting using weaning weight at 90 or 150 days of age, using either direct, maternal, or direct and maternal genetic values. We had assumed the same economic weight for direct and maternal genetic values for weaning weight at 150 days. Under his hypothesis, the combined index (maternal and direct) for the trait weight at 150 days yielded the highest economic response. This result could change with different economic weights (i.e depending on the cost of maternal feeding, or the use and cost of feed supplementation to calves) and with the inclusion of other traits in the index (i.e. mature weight to account incomes from mature weight).

Selecting for the direct effect at 150 days or for a combination of maternal and direct effects at 150 days had similar economic responses, but the first strategy increased the

response via increasing the direct effect, with a decrease in maternal effect and milk production of cows, whereas the second strategy increased the maternal effects and milk yield of cows.

The correlated response in the milk production of cows seemed to increase the selection strategy. However, selection of the direct effect at 150 days had a low response for milk yield, which combined with the reduction of the expected maternal effect would probably lead to problems in the maternal ability of the cows in the next generation. Sepchat et al. (2015) showed an overall decline in milk production, in the last 40 years, in the Limousin and Salers breeds. This decline in production could be explained by the selection for slaughter performance because the cows increased their average size from 5 to 6 kg / year.

Finally, the selection strategies including direct weights showed a high response in the mature weight. The relation of mature weight with maturity, long and short time productivity of cows and feeding costs are still under discussion. Regatieri et al. (2012) recommended that mature live weight be considered in genetic evaluations to maintain a suitable cow size for a given production system. High mature weight involves increased nutritional requirements (Jenkins and Ferrell, 1994), thus reducing the production efficiency (Silva et al., 2015). In addition, when selection for beef production results in a higher adult weight, the heifers tend to reach puberty at an older age and at a heavier weight relative to mature BW than breeds selected solely for milk production (Ferrell, 1982). Depending on the economic value assigned to this trait, the index combining direct and maternal effects could change, giving more importance to maternal than the direct effect.

4.4 Conclusions

Environmental effects, especially the sex of the calf and the dam number for calving (for direct genetic effects), and the energy level of the cow and its body condition at calving (for maternal effects) should be included in the models of evaluation to obtain proper estimations of genetic parameters for beef cattle evaluation.

Genetic milk yield explains half the variation of maternal effects. The prediction of milk yield will be better using maternal effects at 90 days than at 150 days. The combined index (maternal and direct) for the trait weight at 150 days yielded the highest economic response increasing the direct effect indirectly without decreasing the maternal effect at 150 days.

Conflict of interest statement

The authors declare that they have no conflict of interest.

Acknowledgements

Funding for this research has been provided by INIA (RTA2014-00038-C02, RTA2013-059-C02, and RZP2015). The authors would like to acknowledge the *La Garcipollera* Research Station for data provided. M. Blanco has a contract funded by INIA and ESF.

4.5 References

- Åby, B.A., Aass, L., Sehested, E., Vangen, O., 2012. A bio-economic model for calculating economic values of traits for intensive and extensive beef cattle breeds. *Livest. Sci.* 143, 259–269.
- Albertí, P., Ripoll, G., Goyache, F., Lahoz, F., Olleta, J.L., Panea, B., Sañudo, C., 2005. Carcass characterisation of seven Spanish beef breeds slaughtered at two commercial weights. *Meat Sci.* 71, 514–521.
- Albertini, T.Z., Medeiros, S.R., Torres, R.A.A., Zocchi, S.S., Oltjen, J.W., Strathe, A.B., Lanna, D.P.D., 2012. A methodological approach to estimate the lactation curve and net energy and protein requirements of beef cows using nonlinear mixed-effects modeling1. *J. Anim. Sci.* 90, 3867–78.
- Álvarez-Rodríguez, J., Palacio, J., Sanz, A., 2010. Metabolic and luteal function in winter-calving Spanish beef cows as affected by calf management and breed. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 94, 385–394.
- Barros, L.V. de, Paulino, M.F., Marques, D.E.C., Cabral, C.H.A., Silva, F.G. da, Caldeira, D.S.A., Lopes, S.A., Moura, F.H. de, 2015. Supplementation of suckling beef calves on a creep-feeding system and nutritional evaluation of lactating beef dams. *Semina Cienc. Agrar. Londrina* 36, 3431–3443.
- Berry, D.P., Crowley, J.J., 2013. Cell Biology Symposium: Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle1. *J. Anim. Sci.* 91, 1594–613.
- Blanco, M., Villalba, D., Ripoll, G., Sauerwein, H., Casasús, I., 2008. 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. *Animal.* 2, 779–789.
- Cano, G., Blanco, M., Casasús, I., Cortés-Lacruz, X., Villalba, D., 2016. Comparison of B-splines and non-linear functions to describe growth patterns and predict mature weight of female beef cattle. *Anim. Prod. Sci.* 56, 1787–1796.

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. *J. Anim. Sci.* 80, 1638–1651.

Cortés, X., Revilla, R., Casasús, I., Blanco, M., Sanz, A., Villalba, D., 2015. Análisis de los efectos ambientales y genéticos que afectan a la producción de leche en vacas nodrizas de la raza Parda de Montaña. *XVI Jorn. Sobre Prod. Anim.* 1, 36–38.

Cortés-Lacruz, X., Revilla, R., Casasús, I., Sanz, A., Ferrer, J., Banzo, P., Villalba, D., 2017. Evaluación genética de la facilidad de parto en la raza bovina Parda de Montaña usando los modelos lineal y umbral. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria, ITEA*, 113-2.

De La Torre, A., Recoules, E., Blanc, F., Ortigues-Marty, I., D'Hour, P., Agabriel, J., 2015. Changes in calculated residual energy in variable nutritional environments: An indirect approach to apprehend suckling beef cows' robustness. *Livest. Sci.* 176, 75–84.

Ferrell, C.L., 1982. Effects of postweaning rate of gain on onset of puberty and productive performance of heifers of different breeds. *J. Anim. Sci.* 55, 1272–83.

Fina, M., Ibáñez-Escriche, N., Piedrafita, J., Casellas, J., 2013. Canalization analysis of birth weight in Bruna dels Pirineus beef cattle. *J. Anim. Sci.* 91, 3070–3078.

Forster, K.M., Pimentel, M.A., Ferrugem Moraes, J.C., 2010. Availability of net energy in the milk and weight performance in Hereford and Aberdeen Angus calves from birth to weaning. *Rev. Bras. Zootec.-Braz. J. Anim. Sci.* 39, 2545–2552.

Fries, F., Ruvinsky, A., 1999. *The Genetics of Cattle*, First edition. ed. Cabi, Wallingford, Oxon, UK ; New York.

Goldberg, V., Ravagnolo, O., 2015. Description of the growth curve for Angus pasture-fed cows under extensive systems. *J. Anim. Sci.* 93, 4285–4290.

Groeneveld, E., Kovac, M., Mielenz, N., 2010. *VCE User's Guide and Reference Manual*. Version 60 Inst. Farm Anim. Genet. Neust. Ger. 1-125.

Gutiérrez, J.P., Goyache, F., Fernández, I., Alvarez, I., Royo, L.J., 2007. Genetic relationships among calving ease, calving interval, birth weight, and weaning weight in the Asturiana de los Valles beef cattle breed. *J. Anim. Sci.* 85, 69–75.

ICAR (2014). *International Committee for Animal Recording, Recording Guidelines*. General Assembly held on May 2014, Berlin, Germany.

Jenkins, T.G., Ferrell, C.L., 1994. Productivity through weaning of nine breeds of cattle under varying feed availabilities: I. Initial evaluation. *J. Anim. Sci.* 72, 2787–2797.

- Kratochvilova, M.**, 2001. Relationship between growth and milk production in dairy cattle. *Czech J. Anim. Sci.* 46, 139–144.
- Le Du, Y.L.P., Macdonald, A.J., Peart, J.N.**, 1979. Comparison of two techniques for estimating the milk production of suckler cows. *Livest. Prod. Sci.* 6, 277–281.
- Lee, C., Pollak, E.J.**, 2002. Genetic antagonism between body weight and milk production in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 80, 316–21.
- Liinamo, A.-E., Ojala, M., Arendonk, J. van**, 2001. Genetic relationship of meat and milk production in Finnish Ayrshire. *Livest. Prod. Sci.* 69, 1–8.
- Liu, T., Mays, A.R., Turner, K.E., Wu, J.P., Brown, M.A.**, 2015. Relationships of milk yield and quality from six breed groups of beef cows to preweaning average daily gain of their calves. *J. Anim. Sci.* 93, 1859–1864.
- Lopes, F.B., Magnabosco, C.U., Paulini, F., da Silva, M.C., Miyagi, E.S., Lôbo, R.B.**, 2013. Genetic analysis of growth traits in polled Nellore cattle raised on pasture in tropical region using bayesian approaches. *Plos One* 8, e75423.
- Lowman, B., Scott, N., Somerville, S.**, 1976. Condition scoring suckler cows. *Coll Agric Bull* 6.
- MacNeil, M.D., Mott, T.B.**, 2006. Genetic analysis of gain from birth to weaning, milk production, and udder conformation in Line 1 Hereford cattle. *J. Anim. Sci.* 84, 1639–1645.
- McHugh, N., Cromie, A.R., Evans, R.D., Berry, D.P.**, 2014. Validation of national genetic evaluations for maternal beef cattle traits using Irish field data. *J. Anim. Sci.* 92, 1423–1432.
- McParland, S., Kennedy, E., Lewis, E., Moore, S.G., McCarthy, B., O'Donovan, M., Berry, D.P.**, 2015. Genetic parameters of dairy cow energy intake and body energy status predicted using mid-infrared spectrometry of milk. *J. Dairy Sci.* 98, 1310–1320.
- Meyer, K.**, 1995. Estimates of genetic parameters for mature weight of Australian beef cows and its relationship to early growth and skeletal measures. *Livest. Prod. Sci.* 44, 125–137.
- Meyer, K.**, 1997. Estimates of genetic parameters for weaning weight of beef cattle accounting for direct-maternal environmental covariances. *Livest. Prod. Sci.* 52, 187–199.
- Miller, S.P., Wilton, J.W.**, 1999. Genetic relationships among direct and maternal components of milk yield and maternal weaning gain in a multibreed beef herd. *J. Anim. Sci.* 77, 1155–1161.

- Morales, R., Menéndez-Buxadera, A., Avilés, C., Molina, A.,** 2013. Direct and maternal genetic effects for preweaning growth in Retinta cattle estimated by a longitudinal approach throughout the calving trajectory of the cow. *J. Anim. Breed. Genet.* 130, 425–434.
- Mujibi, F.D.N., Crews, D.H.,** 2009. Genetic parameters for calving ease, gestation length, and birth weight in Charolais cattle. *J. Anim. Sci.* 87, 2759–2766.
- Neville, W.E., Warren, E.P., Griffey, W.A.,** 1974. Estimates of age effects on milk production in Hereford cows. *J. Anim. Sci.* 38, 1–5.
- Pedrosa, V.B., Eler, J.P., Ferraz, J.B.S., Pinto, L.F.B., Pedrosa, V.B., Eler, J.P., Ferraz, J.B.S., Pinto, L.F.B.,** 2014. Utilização de modelos unicaracterística e multicaracterística na estimação de parâmetros genéticos na raça Nelore. *Arq. Bras. Med. Veterinária E Zootec.* 66, 1802–1812.
- Pimentel, M.A., Moraes, J.C.F., Jaume, C.M., Lemes, J.S., Brauner, C.C.,** 2006. Lactation performance of Hereford cows raised in a range system in the state of Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Zootec.-Braz. J. Anim. Sci.* 35, 159–168.
- Quintanilla, R., Piedrafita, J.,** 2000. Efectos maternos en el peso al destete del ganado vacuno de carne: una revision. *ITEA Prod. Anim.* 96A, 7–39.
- Quintanilla, R., Varona, L., Pujol, M.R., Piedrafita, J.,** 1999. Maternal animal model with correlation between maternal environmental effects of related dams. *J. Anim. Sci.* 77, 2904–2917.
- Quintans, G., Banchemo, G., Carriquiry, M., Lopez-Mazz, C., Baldi, F.,** 2010. Effect of body condition and suckling restriction with and without presence of the calf on cow and calf performance. *Anim. Prod. Sci.* 50, 931–938.
- Regatieri, I.C., Boligon, A.A., Baldi, F., Albuquerque, L.G.,** 2012. Genetic correlations between mature cow weight and productive and reproductive traits in Nelore cattle. *Genet. Mol. Res.* 11, 2979–2986.
- Robison, O.W., Yusuff, M.K.M., Dillard, E.U.,** 1978. Milk production in Hereford cows I. Means and correlations. *J. Anim. Sci.* 47, 131–136.
- 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. *Livest. Prod. Sci.* 86 (3): 179-191.
- Sepchat, B., D'Hour, P., Agabriel, J.,** 2015. Production laitière des vaches allaitantes: caractérisation et étude des principaux facteurs de variation. *Recontre des Recherches sur les Ruminants* 22, 5-6 december. Paris, France, pp 329-332.

Silva, L.N., Gasparino, E., Torres Júnior, R.A.A., Euclides Filho, K., Silva, L.O.C., Alencar, M.M., Souza Júnior, M.D., Battistelli, J.V.F., Silva, S.C.C., 2015. Repeatability and genotypic correlations of reproductive and productive traits of crossbred beef cattle dams. *Genet. Mol. Res.* 14, 5310–5319.

Vargas, G., Buzanskas, M.E., Guidolin, D.G.F., Grossi, D. do A., Bonifácio, A. da S., Lôbo, R.B., Fonseca, R. da, Oliveira, J.A. de, Munari, D.P., 2014. Genetic parameter estimation for pre and post-weaning traits in Brahman cattle in Brazil. *Trop. Anim. Health Prod.* 46, 1271–1278.

Van Vleck, L. D., 1970. Index Selection for Direct and Maternal Genetic Components of Economic Traits. *Biometrics* 26 (3): 477-83.

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. *J. Anim. Sci.* 78, 1132–40.

Wathes, D.C., Cheng, Z., Bourne, N., Taylor, V.J., Coffey, M.P., Brotherstone, S., 2007. Differences between primiparous and multiparous dairy cows in the inter-relationships between metabolic traits, milk yield and body condition score in the periparturient period. *Domest. Anim. Endocrinol.* 33, 203–225.

**5 CAPÍTULO III - EFECTO DEL MANEJO Y LA
RAZA SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y LA
LONGEVIDAD EN VACUNO DE CARNE**

Este capítulo dará lugar a un manuscrito que será enviado a la revista *Animal*.

5.1 Introducción

Los principales caracteres que se incluyen en los programas de mejora genética de bovino de carne son la facilidad de parto, el peso al nacimiento, el peso al destete y la calidad de la canal. Es indudable que los caracteres antes enunciados constituyen los componentes más importantes de la rentabilidad de las explotaciones de vacas nodrizas, sobre todo cuando se consideran a escala anual. Sin embargo, cuando se contemplan estos caracteres a largo plazo, es el número de terneros vendidos por vaca presente, que depende de la duración de la vida productiva de las vacas, pero también de su capacidad de reproducirse de forma regular (Essl, 1998) el que adquiere una importancia destacable. La duración de la vida productiva es un carácter de interés creciente en la mejora genética animal (Yazdi et al., 2000), pero en ganado bovino de carne se ha estudiado poco sus consecuencias en la productividad de los rebaños (Endecott et al., 2013). En vacas lecheras se ha evidenciado que la selección a favor de los caracteres productivos produce una disminución en la longevidad (Oltenucu y Broom, 2010).

Ducrocq et al. (1988) definen la longevidad como la capacidad de la vaca de retrasar el desvieje, entendido como la eliminación voluntaria por razones productivas, y la longevidad funcional como la capacidad de retrasar la eliminación involuntaria. Los caracteres que miden la longevidad funcional son los de mayor interés para la selección genética (Essl, 1998). La correcta gestión de la eliminación de las vacas no productivas es una decisión compleja que permite mejorar la rentabilidad de los rebaños. Numerosos estudios demuestran que una larga vida productiva y una baja tasa de desvieje permiten obtener mayores beneficios económicos en las explotaciones, debido a la reducción de los costes de reemplazo. La buena salud y la fertilidad son la base para tener una larga vida productiva, permitiendo reducir los costes de tratamientos sanitarios y el descenso de la incidencia de la eliminación involuntaria. La reducción de la eliminación de vacas jóvenes permite aumentar el porcentaje de vacas con el máximo potencial de producción en el rebaño, lo que permite aumentar hasta un 23% los kg de terneros destetados totales (Roberts et al., 2015).

La capacidad de reproducirse de las vacas se puede medir con el número de terneros paridos por vaca, pero la productividad también se corresponde con el número de terneros destetados, el peso en kg de ternero paridos y el peso en kg de ternero

destetados, estos dos últimos divididos por la edad de la vaca (Arthur et al., 1993). El número de terneros paridos depende de la regularidad de la vaca en la reproducción, de su capacidad maternal y de la capacidad de supervivencia tanto del ternero como de la vaca, mientras que el número de terneros destetados puede estar directamente relacionado con la longevidad, si se eliminan las vacas el año que no destetan ningún ternero. Por otro lado, el peso del ternero y los kg de terneros destetados tienen mucha importancia desde el punto de vista económico para las explotaciones, ya que es la principal fuente de ingresos (Åby et al., 2012), por lo tanto un aumento en el número de terneros destetados significará un aumento en los ingresos.

La longevidad y la productividad tienen una componente genética evidente (Brown et al., 1972; Jamrozik et al., 2013), pero el manejo reproductivo del rebaño puede condicionar la productividad de las vacas. La agrupación de partos en rebaños de zonas de montaña permite gestionar los recursos (mano de obra, alimentación...) de una forma más eficiente, un mejor control sanitario evitando la transmisión de enfermedades, y la venta de terneros al destete en lotes lo más homogéneos posible. Pero este manejo limita las posibilidades de reproducción en algunos momentos, condicionando su productividad. Otro de los factores ambientales que puede condicionar la productividad individual es el manejo durante la fase de recría. Este manejo repercutirá en la edad al primer parto y en la tasa de madurez a la cubrición, factores que tienen un efecto importante en la futura productividad de las vacas (Day y Nogueira, 2013; Rogers et al., 2004).

El objetivo de este trabajo es estudiar la relación entre los efectos de manejo: época de nacimiento, tasa de madurez de la vaca en la primera cubrición, edad al primer parto, y raza, con la productividad y la longevidad de la vaca de carne en sistemas de producción de zonas de montaña.

5.2 Material y métodos

Los datos se obtuvieron de la base de datos de la finca experimental “La Garcipollera” (España, 42° 37' N; 0° 30' W; 945m sobre el nivel del mar) situada en la zona sur los Pirineos. Se disponía de 2.899 registros de partos de 651 vacas con al menos un parto nacidas entre los años 1985 y 2010, 482 (74,1%) de la Raza Parda de Montaña y 169 (25,9%) de la raza Pirenaica.

El manejo del ganado en condiciones de montaña se basa, fundamentalmente, en tres periodos: estabulación invernal, pastoreo en puerto durante el verano y pastoreo en áreas boscosas o praderas de fondo de valle en épocas intermedias (Manrique et al., 1992). En los sistemas tradicionales, los partos se concentraban durante la primavera pero, desde hace años, la tendencia en las explotaciones ha sido la generalización de los partos a lo largo de todo el año, concentrándose la mayor parte de ellos tanto en primavera como en otoño. En las condiciones de este trabajo, el manejo reproductivo del rebaño ha estado enfocado a la concentración estacional de los partos (primavera y otoño), con una duración media de cada época de paridera de tres meses. Las cubriciones se realizan mediante monta natural con toros de las mismas razas que las hembras, introduciéndose los machos 90 días después del primer parto.

El peso al destete de los terneros producidos por cada vaca se estandarizó a 150 días y se corrigió por el efecto ambiental sexo*época de parto*año de parto a partir de las soluciones del modelo lineal (1).

$$(1) Y_{ijkl} = \mu + (S * EP * A)_{ijk} + b * edad + e_{ijkl}$$

Dónde: Y_{ijkl} = kg de peso al destete; μ = media poblacional; S_i = efecto sexo del ternero i ; EP_j = efecto época de parto j ; A_k = efecto año de parto k ; b = covariable edad al destete (edad); e_{ijkl} = residuo del modelo.

Las variables utilizadas para medir la productividad absoluta fueron el número de terneros nacidos vivos totales, el número de terneros destetados totales y los kg de ternero destetados totales, en valores absolutos y por edad a la baja de la vaca. Las variables utilizadas para medir la evolución de la productividad anual de la vaca fueron el número de terneros destetados y los kg de ternero destetados por año de vida de la vaca.

Tabla 19: Tasa de madurez categorizada a los 700 días de vida en porcentaje de su peso adulto por raza.

Tasa de madurez	Parda de Montaña	Pirenaica
Alta	0,994-0,814	0,934-0,757
Media	0,813-0,776	0,756-0,723
Baja	0,775-0,538	0,722-0,532

Tabla 20: Número de vacas y porcentajes (sobre el total de fila en cursiva y de columna) para los niveles de los efectos (vacas con baja registrada en el momento de cierre de la base de datos).

Tasa de madurez	Raza y Época de nacimiento	Edad al primer parto		Total
		2,5	3	
Alta		131	84	215
		<i>40,68%</i>	<i>40,38%</i>	<i>40,57%</i>
		<i>60,93%</i>	<i>39,07%</i>	
	Otoño	58	23	81
		<i>18,01%</i>	<i>11,06%</i>	<i>15,28%</i>
		<i>71,60%</i>	<i>28,40%</i>	
	Parda/Primavera	54	17	71
		<i>16,77%</i>	<i>8,17%</i>	<i>13,40%</i>
		<i>76,06%</i>	<i>23,94%</i>	
	Pirenaica	19	44	63
		<i>5,90%</i>	<i>21,15%</i>	<i>11,89%</i>
		<i>30,16%</i>	<i>69,84%</i>	
Media		110	57	167
		<i>34,16%</i>	<i>27,40%</i>	<i>31,51%</i>
		<i>65,87%</i>	<i>34,13%</i>	
	Otoño	56	18	74
		<i>17,39%</i>	<i>8,65%</i>	<i>13,96%</i>
		<i>75,68%</i>	<i>24,32%</i>	
	Parda/Primavera	45	9	54
		<i>13,98%</i>	<i>4,33%</i>	<i>10,19%</i>
		<i>83,33%</i>	<i>16,67%</i>	
	Pirenaica	9	30	39
		<i>2,80%</i>	<i>14,42%</i>	<i>7,36%</i>
		<i>23,08%</i>	<i>76,92%</i>	
Baja		81	67	148
		<i>25,16%</i>	<i>32,21%</i>	<i>27,92%</i>
		<i>54,73%</i>	<i>45,27%</i>	
	Otoño	49	31	80
		<i>15,22%</i>	<i>14,90%</i>	<i>15,09%</i>
		<i>61,25%</i>	<i>38,75%</i>	
	Parda/Primavera	19	10	29
		<i>5,90%</i>	<i>4,81%</i>	<i>5,47%</i>
		<i>65,52%</i>	<i>34,48%</i>	
	Pirenaica	13	26	39
		<i>4,04%</i>	<i>12,50%</i>	<i>7,36%</i>
		<i>33,33%</i>	<i>66,67%</i>	
Total	322	208	530	

En el modelo de evaluación de la productividad se incluyeron los efectos de manejo estudiados. La tasa de madurez categorizada mediante terciles (alta, media y baja) a los 700 días de vida (edad en el que se produce la cubrición) en porcentaje de su peso adulto, estimado previamente para cada vaca mediante las curvas de crecimiento descritas en Cano et al. (2016). Teniendo en cuenta las diferencias de peso adulto y crecimiento de las dos razas las categorías de tasa de madurez se calcularon dentro de raza (Tabla 19).

La agrupación de partos en dos parideras, junto con la gestión de la edad al primer parto realizada en la finca experimental, conducen a dos grupos de edades al primer parto claramente diferenciados (parto a los 2,5 años y parto a los 3 años, con unas medias en meses de 30 ± 2 y de 37 ± 3 , respectivamente). Finalmente, se incluyó la raza (Parda de Montaña y Pirenaica) y la época de nacimiento de la vaca (otoño, entre octubre y diciembre, y primavera, entre febrero y abril).

Para evaluar la productividad absoluta de las vacas solo se utilizaron los registros de las vacas que habían acabado su vida productiva en el momento del cierre de la base de datos, siendo 530 el número de vacas disponible para el análisis (Tabla 20).

El modelo de análisis de la influencia de los efectos ambientales sobre la productividad absoluta se presenta en (2).

$$(2) Y_{ijklm} = \mu + M_i + E_j + (R * EN)_{kl} + e_{ijkl}$$

Dónde: Y_{ijklm} = variable número de terneros nacidos vivos totales o número de terneros destetados totales o kg de ternero destetados totales en valores absolutos y por año de vida de la vaca; μ = media poblacional; M_i = efecto tasa de madurez a los 700 días; E_j = efecto edad al primer parto; R_k = efecto raza; EN_l = efecto época de nacimiento; e_{ijklm} = residuo del modelo.

Debido al desequilibrio del efecto raza por época de nacimiento (en la base de datos analizada solo había vacas Pirenaicas nacidas en primavera), la comparación entre razas se realizó dentro de la época de nacimiento primavera, mientras que la comparación entre épocas de nacimiento se realizó dentro de la raza Parda de Montaña.

El análisis de la evolución de la productividad de las vacas se realizó a partir de los 2.899 registros de partos de las 651 vacas disponibles, mediante un modelo de regresión

de orden cúbico con coeficientes aleatorios que permitió estimar las medias de los niveles de los efectos en cada año de vida de las vacas (3).

$$(3) Y_{ij} = a_m + a_{ed} + a_{(r*en)} + A_i + (b_m + b_{ed} + b_{(r*en)} + B_i) k + (c_m + c_{ed} + c_{(r*en)} + C_i) k^2 + (d_m + d_{ed} + d_{(r*en)} + D_i) k^3 + e_{ij}$$

Dónde: Y_{ij} = variable número de terneros destetados o kg de ternero destetados por año de vida; m = efecto tasa de madurez a los 700 días; ed = efecto edad al primer parto; r = efecto raza; en = efecto época de nacimiento; A_i , B_i , C_i y D_i = efectos aleatorios del animal i sobre el intercepto, coeficiente lineal, cuadrático y cúbico, respectivamente; k = edad de la vaca (años); e_{ij} =residuo del modelo.

Tabla 21: Número de partos registrados en diferentes rangos de edad y en función del efecto estudiado (tasa de madurez a los 700 días, edad al primer parto, raza y época de nacimiento).

Edad de la vaca	Tasa de madurez a los 700 días			Edad al primer parto		Raza		Época de nacimiento ¹	
	Alta	Media	Baja	2,5	3	Parda	Pirenaica	PRI	OTO
1,5-2,5	70	91	85	246		23	18	23	205
2,5-3,5	211	161	155	275	252	154	156	154	217
3,5-4,5	165	120	107	214	178	125	126	125	141
4,5-5,5	142	106	88	196	140	112	99	112	125
5,5-6,5	136	79	73	164	124	84	98	84	106
6,5-7,5	106	73	57	139	97	77	73	77	86
7,5-8,5	91	53	51	113	82	62	61	62	72
8,5-9,5	74	45	38	91	66	55	45	55	57
9,5-10,5	61	47	36	90	54	51	44	51	49
10,5-11,5	55	41	22	78	40	46	30	46	42
11,5-12,5	42	30	24	64	32	38	27	38	31
12,5-13,5	30	19	11	44	16	29	15	29	16
13,5-14,5	25	12	10	30	17	19	13	19	15
14,5-15,5	13	5	7	18	7	10	6	10	9
15,5-16,5	9	3	4	8	8	5	4	5	7
16,5-17,5	4	4	3	8	3	2	3	2	6
17,5-18,5	1	1		2					2
18,5-19,5	3			2	1		1		2

¹PRI = primavera; OTO = otoño.

En la Tabla 21 se detallan el número de partos registrados utilizados en el análisis de evolución de la productividad anual de la vaca para los diferentes efectos. La edad máxima de las vacas presentes en la base de datos fue de 19 años, llegando a alcanzar hasta los 14 partos.

Tanto el modelo de corrección del peso al destete como el análisis de la productividad absoluta y su evolución por año de vida de la vaca se realizaron mediante el software de análisis estadístico JMP pro12 del SAS® (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Para analizar la longevidad se utilizó la variable edad de la vaca en el momento de la eliminación, incluyendo las vacas eliminadas voluntariamente y las eliminadas por razones ajenas a su producción (campañas de saneamiento, patologías, etc...). El número de vacas disponibles para el análisis fue de 651. Los registros de las vacas que en el momento del cierre de la base de datos seguían vivas se consideraron como censurados para el análisis de supervivencia.

El modelo de análisis de la supervivencia fue el de riesgos proporcionales basado en la distribución Weibull (4) que se solucionó con el software The Survival Kit (Mészáros et al., 2013).

$$(4) \lambda(t) = \lambda_0(t) \exp(m_i + ed_j + r*en_k)$$

Dónde: $\lambda(t)$ = función de riesgo (probabilidad instantánea de baja) para una vaca a tiempo t (días); $\lambda_0(t)$ = Función base de Weibull con un parámetro de escala λ y uno de forma ρ ; m_i = Efecto fijo dependiente del tiempo de la tasa de madurez; ed_j = Efecto fijo dependiente del tiempo de la edad al primer parto; $r*en_k$ = Efecto fijo dependiente del tiempo de la raza por época de nacimiento.

5.3 Resultados

En la Tabla 22 se presentan las medias de las variables que describen los efectos principales incluidos en el análisis. La tasa de madurez a los 700 días de vida, lógicamente y tal como se esperaba, fue diferente entre los niveles establecidos ($P < 0,05$). La edad al primer parto fue similar entre los diferentes niveles de tasa de madurez. Las vacas con una mayor tasa de madurez a los 700 días presentaron, lógicamente, un mayor crecimiento desde el nacimiento hasta los 700 días y un peso a los 700 días mayor, pero un peso adulto inferior ($P < 0,05$).

En función del manejo establecido, la edad media al primer parto para los niveles 2,5 años y 3 años fue diferente ($P < 0,05$). Las vacas que paren por primera vez a los 2,5

años presentaron una tasa de madurez ligeramente superior a los 700 días, una mayor ganancia media diaria desde el nacimiento hasta los 700 días de vida y un mayor peso a los 700 días ($P < 0,05$). No se encontraron diferencias entre niveles para el peso adulto.

Las vacas de la raza Parda de Montaña presentaron una mayor tasa de madurez a los 700 días de vida, una menor edad al primer parto, un mayor crecimiento desde el nacimiento hasta los 700 días y un mayor peso a los 700 días que las vacas Pirenaicas ($P < 0,05$). No se encontraron diferencias entre razas en el peso adulto.

Las vacas nacidas en primavera presentaron una tasa de madurez a los 700 días y una edad al primer parto superior a las nacidas en otoño ($P < 0,05$). No se encontraron diferencias entre épocas de nacimiento en el crecimiento desde el nacimiento hasta los 700 días, en el peso a los 700 días ni en el peso adulto.

Tabla 22: Medias y error estándar de los niveles de los efectos para la tasa de madurez a los 700 días, edad al primer parto, ganancia media diaria hasta los 700 días, peso a los 700 días y peso adulto.

Efecto	Nivel	Nº de vacas	Tasa de madurez 700 días (%)		Edad primer parto (años)		Gmd pn-p700 (kg)		Peso 700 días (kg)		Peso adulto (kg)	
			Media	ee	Media	Ee	Media	ee	Media	ee	Media	ee
Tasa de madurez a los 700 días	alta	215	83,95 ^a	0,25	2,65	0,020	0,654 ^a	0,003	498,1 ^a	2,5	593,9 ^c	3,1
	media	167	78,50 ^b	0,29	2,61	0,027	0,636 ^b	0,004	486,0 ^b	3,0	619,2 ^b	3,6
	baja	148	74,16 ^c	0,32	2,63	0,030	0,620 ^c	0,005	476,5 ^c	3,3	643,2 ^a	3,9
Edad al primer parto	2,5	322	80,50 ^a	0,31	2,44 ^b	0,009	0,644 ^a	0,002	491,9 ^a	2,1	612,2	2,7
	3	208	78,19 ^b	0,43	3,01 ^a	0,013	0,632 ^b	0,004	482,6 ^b	2,9	619,0	3,8
Raza	Parda de Montaña	154	81,31 ^a	0,44	2,63 ^b	0,025	0,648 ^a	0,004	495,6 ^a	3,0	610,5	4,0
	Pirenaica	141	77,32 ^b	0,51	2,85 ^a	0,029	0,621 ^b	0,004	473,5 ^b	3,5	614,2	4,6
Época de nacimiento	primavera	154	81,31 ^a	0,44	2,63 ^a	0,025	0,648	0,004	495,6	3,0	610,5	4,0
	otoño	235	79,85 ^b	0,36	2,53 ^b	0,020	0,644	0,003	491,8	2,4	617,2	3,3

¹Dentro de un efecto, estimas de los niveles con diferente superíndice son diferentes estadísticamente ($P < 0,05$)

5.3.1 *Productividad absoluta*

Las estimas de las medias mínimo cuadráticas del análisis de productividad absoluta se muestran en la Tabla 23. Las vacas con una tasa de madurez alta a los 700 días de vida produjeron más terneros vivos, más terneros destetados, más kg de ternero destetados totales y su edad a la baja fue superior que las de tasa de madurez baja ($P < 0,05$). Las vacas con una tasa de madurez media presentaron un intervalo entre partos inferior a las vacas con tasa de madurez alta ($P < 0,05$). Aunque la diferencia en la producción de kg de ternero destetados por año de vida fue relevante en contra de las vacas con una tasa de madurez baja, no se obtuvieron diferencias significativas.

La edad al primer parto no afecta a los terneros nacidos vivos y destetados, a los kg de ternero destetados ni a la edad a la baja de las vacas. En cambio, el intervalo entre partos fue menor en las vacas que paren por primera vez a los 3 años de edad ($P < 0,05$). Las vacas nacidas en primavera produjeron más terneros vivos, más terneros destetados, más kg de ternero destetados totales y su edad a la baja fue superior que las nacidas en otoño ($P < 0,05$). No se encontró ningún efecto de la raza sobre las variables de productividad estudiadas.

Tabla 23: Medias mínimo cuadráticas y error estándar de los niveles de los efectos para el número de terneros nacidos vivos y destetados, kg de ternero destetados totales y por año de vida, edad a la baja y el intervalo entre partos.

Efecto	Nivel	Nº de vacas	Terneros nacidos vivos		Terneros destetados		Kg de ternero destetados		Kg de ternero destetados por año de vida		Edad baja (años)		Intervalo entre partos (días)	
			Media	ee	Media	ee	Media	ee	Media	ee	Media	ee	Media	ee
Tasa de madurez a los 700 días	alta	215	5,06 ^a	0,23	4,56 ^a	0,22	740,4 ^a	38,2	83,1	2,4	8,80 ^a	0,29	454,9 ^a	6,4
	media	167	4,50 ^{ab}	0,26	4,06 ^{ab}	0,25	681,2 ^{ab}	43,8	82,6	2,7	7,94 ^{ab}	0,33	432,6 ^b	7,3
	baja	148	3,98 ^b	0,28	3,51 ^b	0,27	574,9 ^b	46,8	76,0	2,9	7,27 ^b	0,36	448,9 ^{ab}	7,8
Edad al primer parto	2,5	322	4,73	0,20	4,22	0,19	692,6	33,8	83,9	2,1	8,11	0,26	458,8 ^a	5,7
	3	208	4,29	0,24	3,87	0,23	638,4	40,1	77,3	2,5	7,89	0,30	432,5 ^b	6,7
Raza	Parda de Montaña	154	4,92	0,29	4,41	0,28	739,9	47,5	82,1	3,0	8,95	0,33	439,4	8,0
	Pirenaica	141	4,63	0,29	4,13	0,28	664,6	48,4	80,1	3,0	8,68	0,32	451,6	8,1
Época de nacimiento	primavera	154	4,92 ^a	0,29	4,41 ^a	0,28	739,9 ^a	47,5	82,1	3,0	8,95 ^a	0,33	439,4	8,0
	otoño	235	3,98 ^b	0,23	3,59 ^b	0,22	592,0 ^b	37,7	79,6	2,3	7,33 ^b	0,24	445,4	6,3

¹Dentro de un efecto, estimas de los niveles con diferente superíndice son diferentes estadísticamente ($P < 0,05$)

5.3.2 *Análisis de supervivencia*

Los resultados del análisis de supervivencia (Tabla 24) indicaron una tendencia ($P = 0,056$), a que las vacas con una tasa de madurez baja tuvieran más probabilidad de ser eliminadas del rebaño que las vacas con una tasa de madurez alta (Figura 8). Por el contrario, no se encontraron diferencias a la edad a la baja entre los niveles de edad al primer parto, ni entre razas (Figuras 9 y 10).

La probabilidad de eliminar una vaca nacida en primavera fue menor que en el caso de las nacidas en otoño ($P < 0.05$) (Figura 11).

En todas las figuras que representan la curva de supervivencia se puede observar una tendencia común en la que, a partir de los 10 u 11 años de vida de las vacas, se produce un importante descenso en la probabilidad de supervivencia.

Tabla 24: Estimaciones del análisis de supervivencia, riesgo relativo, y significación entre los niveles de los efectos.

Efecto	Nivel	Nº de vacas	Estima	Error estándar	Chi-cuadrado	Probabilidad Chi-cuadrado	Riesgo relativo
Tasa de madurez a los 700 días	alta (referencia)	215					1,000
	media	167	0,1452	0,1039	1,95	0,1623	1,156
	baja	148	0,2050	0,1076	3,63	0,0569	1,228
Edad al primer parto	2,5 (referencia)	322					1,000
	>3	208	0,0048	0,0992	0,00	0,9610	1,005
Raza	Parda de Montaña (referencia)	154					1,000
	Pirenaica	141	-0,0496	0,1142	5,99	0,2332	0,950
Época de nacimiento	otoño (referencia)	235					1,000
	primavera	154	-0,2300	0,1047	4,82	0,0281	0,795

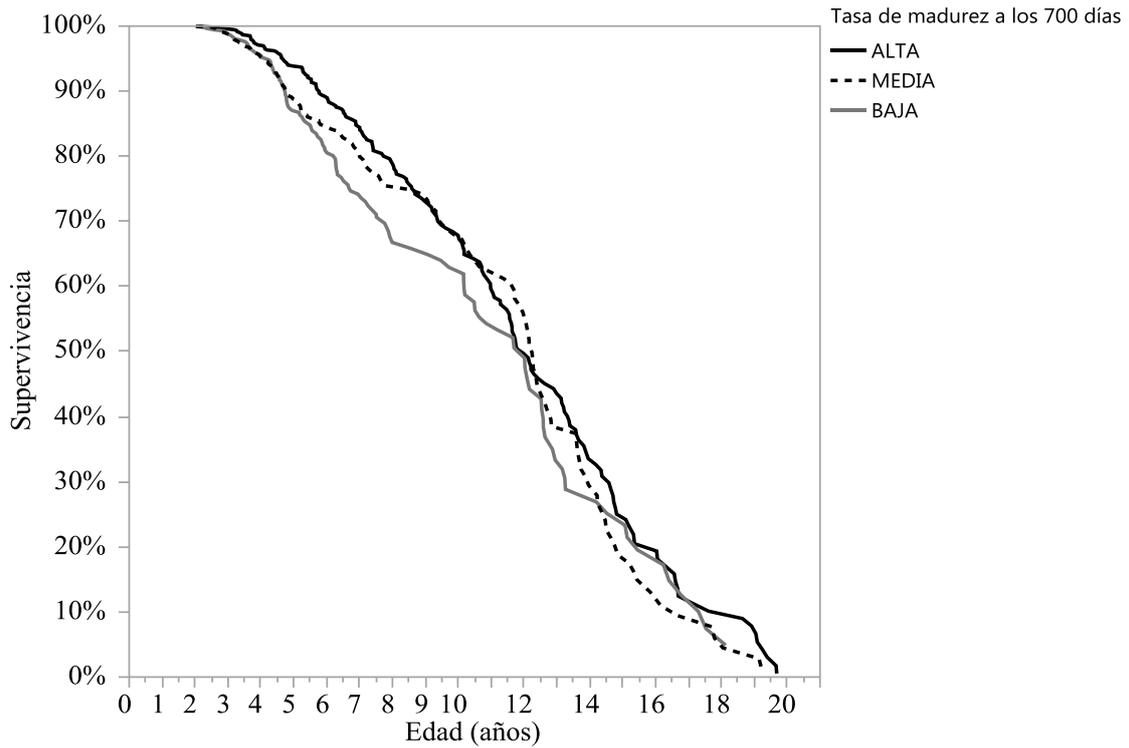


Figura 8: Evolución en el tiempo de la probabilidad de que una vaca permanezca viva en el rebaño para cada nivel del efecto tasa de madurez a los 700 días de vida.

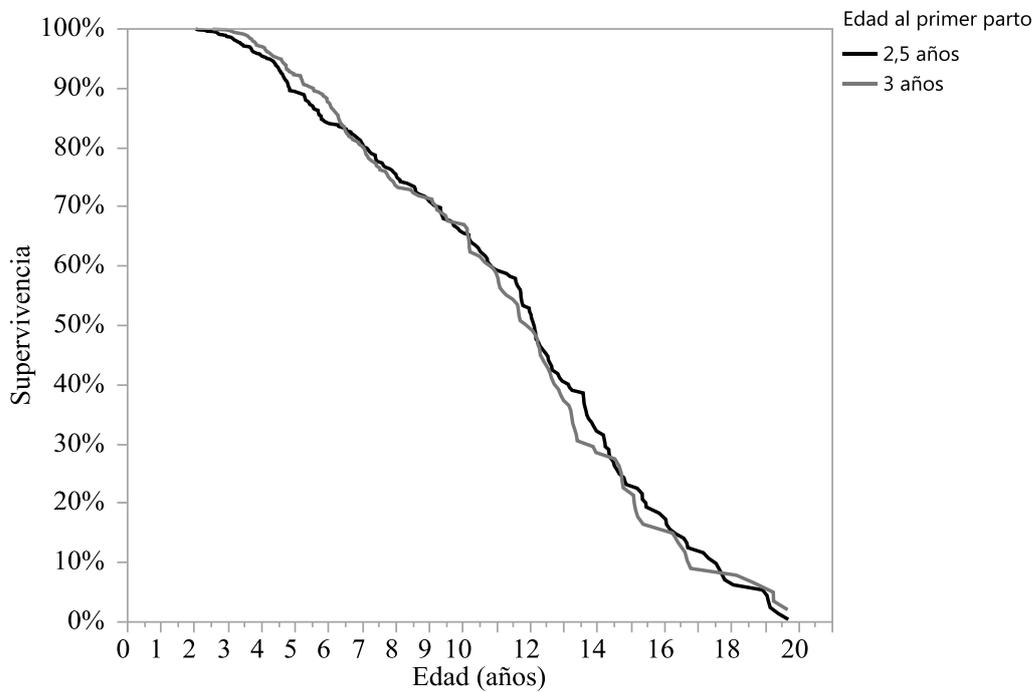


Figura 9: Evolución en el tiempo de la probabilidad de que una vaca permanezca viva en el rebaño para cada nivel del efecto edad al primer parto.

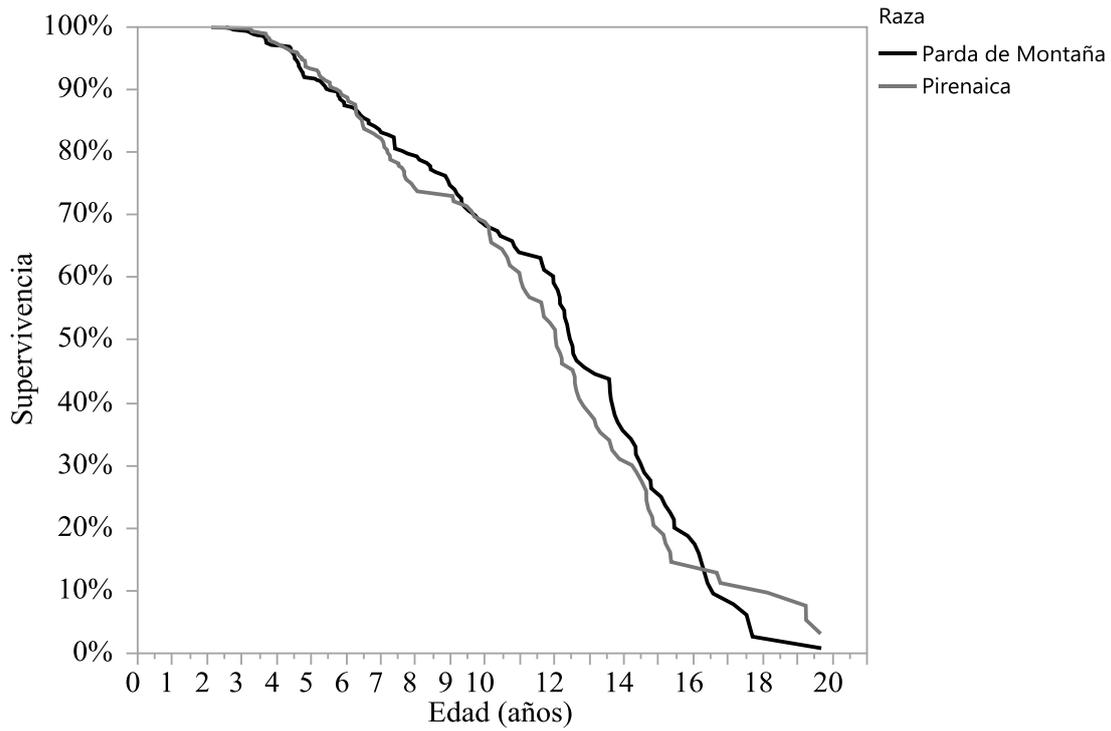


Figura 10: Evolución en el tiempo de la probabilidad de que una vaca permanezca viva en el rebaño para cada nivel del efecto raza.

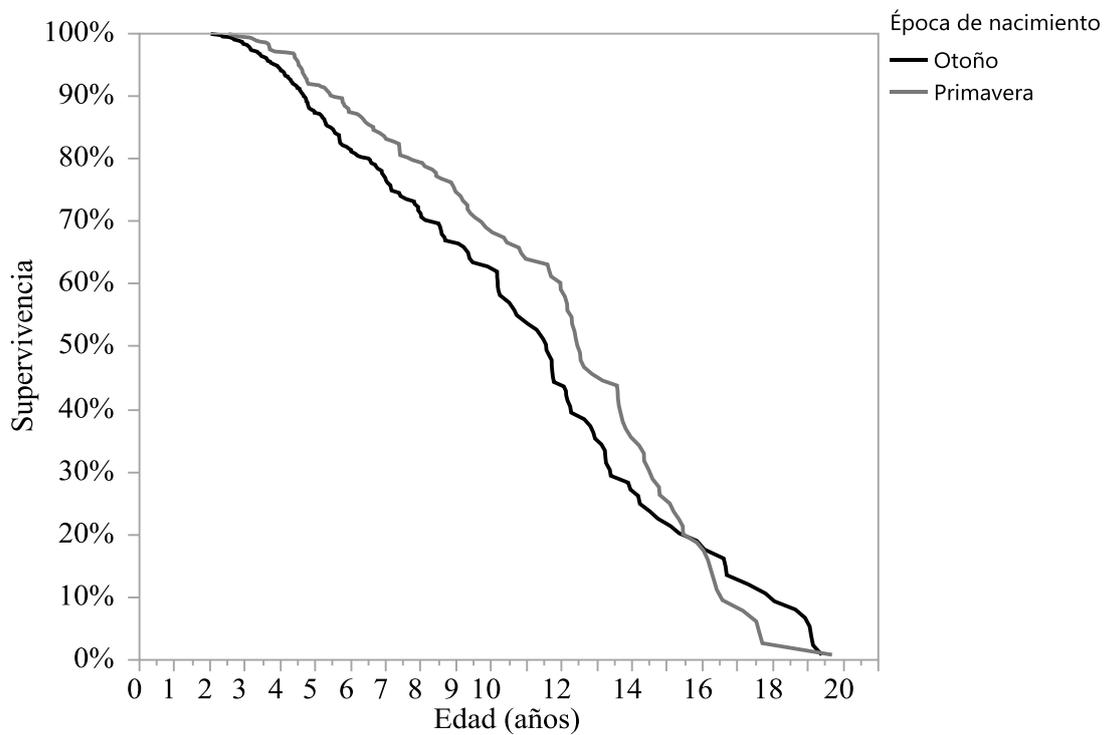


Figura 11: Evolución en el tiempo de la probabilidad de que una vaca permanezca viva en el rebaño para cada nivel del efecto época de nacimiento.

5.3.3 *Evolución de la productividad*

Aunque en el análisis de evolución de la productividad se han utilizado los datos de todas las vacas, en los resultados de evolución de la productividad no se han mostrado las medias estimadas a partir de los 14 años de vida, al estar obtenidas con un número muy reducido de animales y por tanto con un error de estimación muy grande.

En la Figura 12 se puede observar la evolución del número de terneros destetados por año de vida. En general, el número de terneros destetados aumenta hasta el año 8 ó 9 de vida, situándose en ese momento en 0,59 y manteniéndose constante hasta los 13 años de vida.

Las vacas con una tasa de madurez baja produjeron menos terneros destetados por año de vida en el segundo y tercer año ($P < 0,05$) que las de tasa de madurez alta y media. La edad al primer parto afectó significativamente ($P < 0,05$) sobre los terneros destetados por año de vida durante toda la vida de la vaca, produciendo más las vacas que paren por primera vez a los dos años y medio.

Las vacas de la raza Pirenaica produjeron más terneros destetados por año de vida del segundo al quinto año y a partir del décimo que las de la raza Parda de Montaña ($P < 0,05$). Las vacas nacidas en otoño destetaron más terneros por año de vida que las nacidas en primavera ($P < 0,05$).

En la Figura 13 se puede observar la evolución de kg de ternero destetados por año de vida. Como en el caso del número de terneros destetados, en general, se observa un incremento de los kg de ternero destetados por año de vida hasta el año 8. A partir de entonces se mantiene hasta los 13 años. En algún caso se intuye una pérdida de productividad en cuanto a kg destetados, pero no existen diferencias entre las medias obtenidas en los años 9 a 13 de vida para ninguno de los niveles de los efectos estudiados.

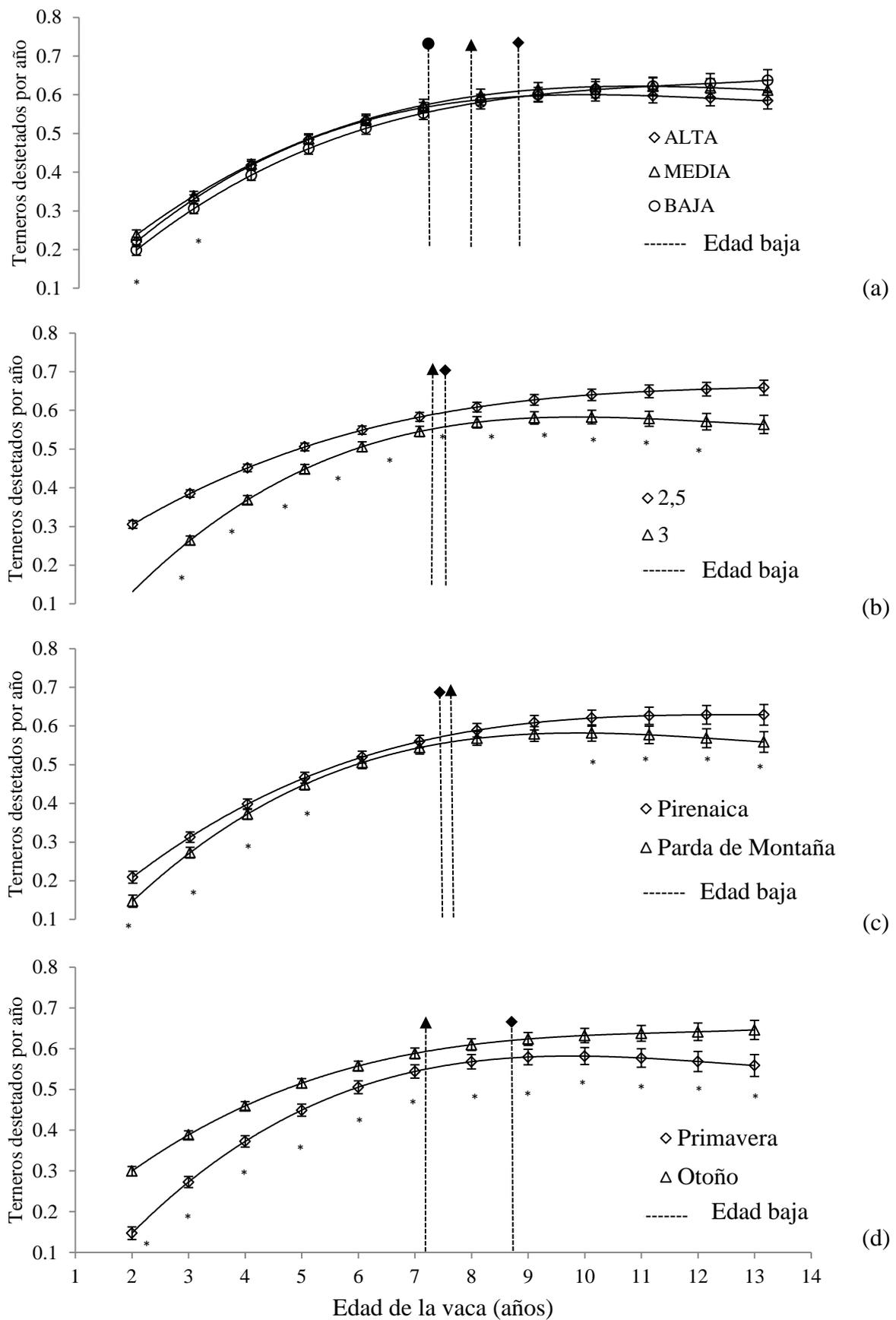


Figura 12: Número de terneros destetados por año de vida de la vaca según la tasa de madurez (a), edad al primer parto (b), la raza (c) y la época de nacimiento (d).

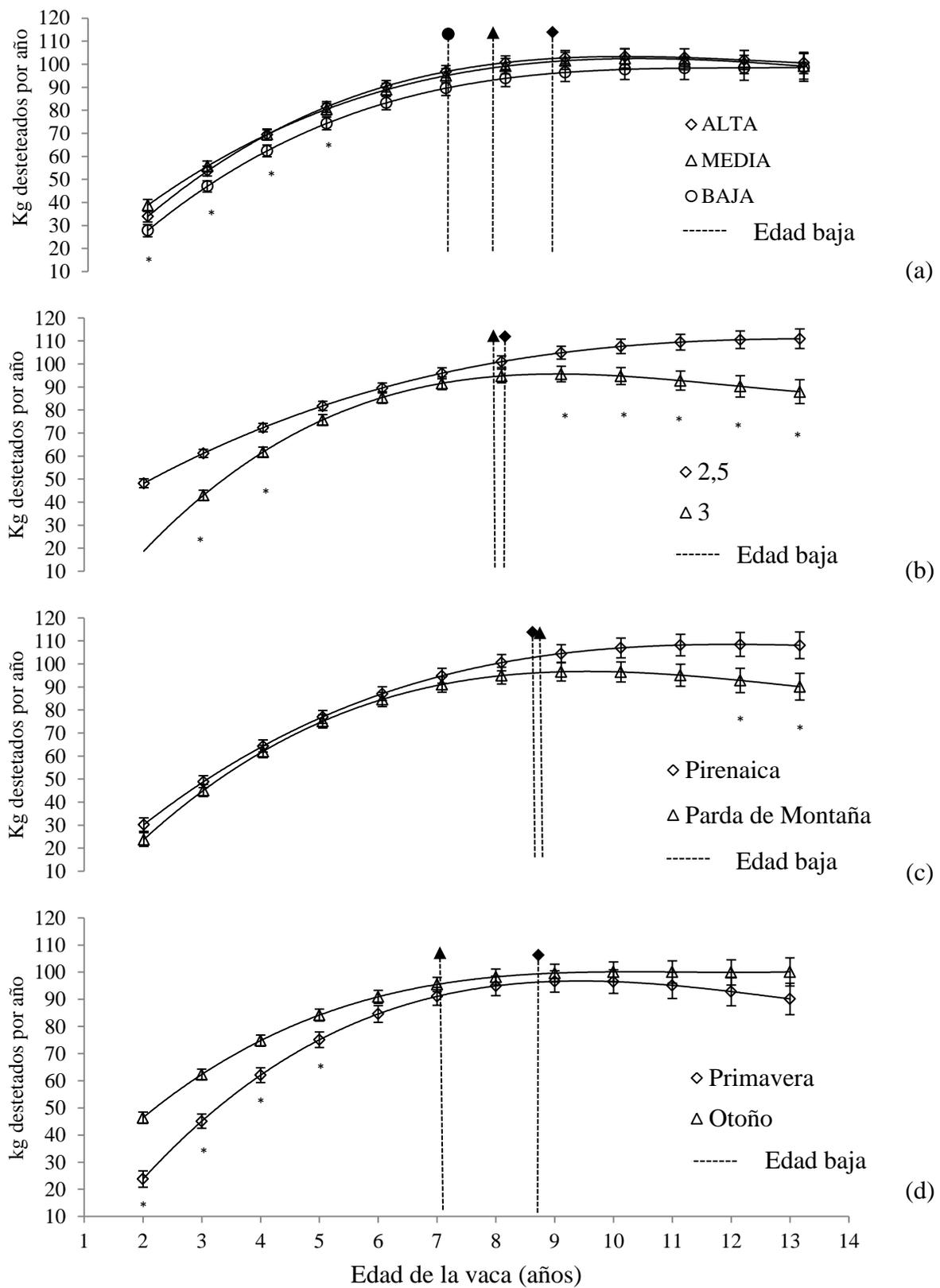


Figura 13: Peso al destete en kg por año de vida de la vaca según la tasa de madurez (a), edad al primer parto (b), la raza (c) y la época de nacimiento (d).

Las vacas con una tasa de madurez baja produjeron menos kg de ternero destetados por año de vida que las de tasa de madurez alta y media desde el segundo hasta el quinto año ($P < 0,05$). La edad al primer parto afectó significativamente ($P < 0,05$) a los kg de ternero destetados por año de vida durante los cuatro primeros años y a partir del noveno año de vida de la vaca, produciendo más las vacas que paren por primera vez a los dos años y medio. Las vacas de la raza Pirenaica a partir del año 12 de vida produjeron más kg de ternero destetados por año que las de la raza Parda de Montaña ($P < 0,05$). Las vacas nacidas en otoño produjeron más kg de ternero destetados por año hasta el quinto año que las nacidas en primavera ($P < 0,05$) (Figura 13).

5.4 Discusión

En el manejo reproductivo seguido en nuestra experiencia, que agrupa los partos en dos épocas del año (primavera y otoño), la edad al primer parto se puede producir a los 2,5 años y por lo tanto las vacas que nacen en primavera parirán por primera vez en otoño y viceversa. En el caso de las vacas conducidas hacia un parto a los tres años de edad, las vacas presentarán su primer parto en la misma época en que nacieron. Por tanto, la época de nacimiento de un animal no tiene por qué estar ligada a la época en la que tiene los partos como vaca (máxime cuando se producen fallos de reproducción que conducen a cambios de paridera a lo largo de su vida productiva). Es por eso que en el modelo estadístico utilizado para la corrección del peso al destete (1) se incluyó entre otros el efecto época de parto, al estar descrito como un efecto ambiental importante para este carácter (Villalba et al., 2000). Por tanto, en todos los resultados que incluyen el peso de ternero destetado de la vaca, se puede considerar que son independientes del efecto de la época de sus partos.

Algunos autores han defendido desde hace mucho tiempo el adelanto de la edad al primer parto como una estrategia de manejo que permite incrementar la rentabilidad del rebaño, debido a la reducción de los costes de alimentación durante el periodo de recría y el incremento de la duración de la vida productiva de las vacas (Petit, 1974).

Day y Nogueira (2013) afirman que rebajar la edad al primer parto en razas de vacuno de carne (Angus, Hereford, Simmental y Charolais) de tres a dos años implica un aumento de 0,7 terneros nacidos vivos a los 7 años de vida debido, a que las vacas empiezan antes a producir. Estos resultados coinciden con los resultados de este trabajo,

las vacas que parieron por primera vez a los 2,5 años de vida presentaron una mayor productividad que las vacas que parieron a los 3 años.

Aunque se observaron diferencias en la tasa de madurez entre los niveles de edad al primer parto, los resultados de la productividad absoluta están corregidos, en principio, por el resto de efectos, por lo que la diferencia de productividad no se debe atribuir a esas diferencias de madurez.

La edad al primer parto también tiene un efecto relevante sobre la productividad absoluta, estas diferencias no fueron significativas en nuestro caso debido a la elevada variabilidad de los datos originada por las diferencias en la duración de la vida productiva entre las vacas.

Coincidiendo con los resultados de este trabajo, Szabó y Dákay (2009) concluyeron que en razas de vacuno de carne (Angus, Hereford, Simmental, Charolais, Limousin y Blonde d'Aquitaine), la edad al primer parto no afecta a la longevidad, mientras que Rogers et al. (2004) afirman que la disminución de la edad al primer parto por debajo de los dos años de vida incrementa el riesgo de que la vaca sea eliminada del rebaño en las razas Red Angus y Charolais.

Cortés-Lacruz et al. (2016), en un análisis de una base de datos más amplia de la raza Parda de Montaña, encontraron un aumento de los partos distócicos al reducir la edad al primer parto por debajo de los dos años, lo que podría conllevar una reducción de la vida útil de dichas vacas. Pero en el presente estudio, la edad considerada como baja (2,5 años) está por encima de otros valores encontrados en la bibliografía, y eso explicaría las diferencias entre estudios. En numerosas zonas de producción francesas y desde hace muchos años es una práctica común adelantar el primer parto a los dos años de edad para, una vez realizado el destete de los terneros y antes de la siguiente cubrición, destinar para vida las novillas más desarrolladas y que hayan tenido un parto sin incidencias, destinando al sacrificio a las restantes (Petit y Matrerre, 1974; Petit, 1973).

Los resultados del intervalo entre partos obtenidos indicaron que la edad al primer parto también tiene efectos sobre la reproducción. Las vacas que parieron por primera vez a los tres años de edad presentaron un menor intervalo entre partos y fueron reproductivamente más eficientes, contrariamente a lo descrito en las mismas condiciones de manejo, pero trabajando con lotes muy homogéneos y controlados, por Revilla et al (1989) y Blasco (1991).

Tabla 25: Evolución del peso real observado en vacas de los tres niveles de tasa de madurez (media¹, error estándar (ee) y número de vacas (n)).

Tasa de madurez	Alta			Media			Baja		
	media	ee	n	media	ee	n	media	ee	n
Tasa de madurez (%)	92,38 ^a	0,19	25	84,61 ^b	0,20	11	77,55 ^c	0,16	19
Edad primer parto (años)	2,93	0,096	213	2,80	0,102	157	2,68	0,083	138
Edad segundo parto (años)	4,25	0,163	175	4,15	0,173	118	4,09	0,141	102
Peso 700d (kg)	522 ^a	12,7	39	486 ^{ab}	13,5	32	466 ^b	11,0	43
Peso primer parto (kg)	567 ^a	18,5	195	524 ^a	19,6	128	471 ^b	16,0	117
Peso segundo parto (kg)	560	13,6	160	554	14,4	110	541	11,8	98
Peso adulto (>1540días) (kg)	568	16,2	144	575	17,2	88	600	14,0	74

¹Estimas de los niveles con diferente superíndice son diferentes estadísticamente ($P < 0,05$)

Para poder reducir la edad al primer parto es recomendable alcanzar un nivel mínimo de tasa de madurez en el momento de la cubrición. Según Rodríguez-Sánchez et al. (2015) la llegada a la cubrición con un peso vivo inadecuado y una tasa de madurez baja puede dar lugar a un aumento de partos distócicos y problemas reproductivos en la raza Parda de Montaña. Por lo tanto, se podrá reducir la edad al primer parto sin comprometer la productividad futura de las novillas, siempre y cuando existan unas condiciones de manejo y de alimentación óptimas en la recría de las novillas que aseguren una buena ganancia media diaria durante la lactación y el crecimiento post destete. Day y Nogueira (2013) proponen una tasa de madurez mínima entre el 60 y 65% para partos a los 2 años. En este trabajo la tasa de madurez de las vacas que paren a los 2,5 años fue de 80,5%, y de 74,1% para el nivel de tasa de madurez baja, lo que indica que la tasa de madurez de las vacas de este trabajo en general fue elevada.

Pese a la elevada tasa de madurez, se encontraron diferencias en la productividad y la longevidad entre los niveles de este efecto. Las vacas con una tasa de madurez alta representaban animales con una mayor ganancia media diaria hasta los 700 días de edad, un mayor peso a los 700 días y en cambio un peso adulto bajo. Las vacas con una tasa de madurez alta llegan al primer parto con un peso muy cercano al adulto, mientras que las vacas con una tasa de madurez baja no llegan a su peso adulto hasta pasado el segundo parto, tal como se puede observar en los datos de la Tabla 25.

Existe un importante efecto de la tasa de madurez sobre la productividad absoluta de las vacas, a mayor tasa de madurez a los 700 días mayor producción de terneros y de kg destetados, mayor edad a la baja y menor intervalo entre partos coincidiendo con Stewart y Martin (1981) en la raza Angus. En este contexto se podría plantear como hipótesis que las vacas con una tasa de madurez alta, que al primer parto ya están muy cerca de su peso adulto, pueden destinar la mayoría de su energía a la producción de leche, lo que se podría traducir en una mayor producción de kg de ternero destetados a lo largo de la vida en comparación con las vacas de tasa de madurez baja. López de Torre et al. (1992) observaron en la raza Retinta que la productividad se podía reducir al aumentar el peso adulto de las vacas y que el número de terneros destetados y los kg de ternero destetados por vaca y por año se incrementaba con el aumento de la tasa de madurez.

Durante su primer y segundo parto, las vacas con tasa de madurez baja deben dividir su energía disponible entre seguir creciendo y la lactación del ternero. Esta situación podría suponer un balance energético desfavorable, que podría incidir negativamente sobre la reactivación ovárica postparto. La nutrición durante este período, subordinada a las condiciones nutricionales con las que llega la novilla al parto, es uno de los componentes que determinan la duración del anestro (Sanz et al., 2004), por lo que este balance energético negativo podría conducir a un aumento de los fallos reproductivos, perjudicando la productividad y su longevidad en la explotación. Así, en las vacas con tasa de madurez baja y en los primeros años de vida se produce un importante descenso de la supervivencia, en comparación con el resto de animales (Figura 8).

La adecuada gestión de estos animales pasaría por una alimentación durante la lactación acorde a sus mayores necesidades (no siempre fácil en condiciones comerciales y especialmente en condiciones de pastoreo) o a la reducción dichas necesidades, mediante un destete precoz en los dos primeros partos para permitir a la vaca seguir con su desarrollo y crecimiento lo antes posible. Realizar un destete precoz puede influir sobre los rendimientos productivos y reproductivos de las vacas y sobre los rendimientos productivos de los terneros (Blanco, 2007). Un destete precoz implica un aumento de la mano de obra ya que es necesario dividir a los animales en lotes de alimentación y una disminución de los ingresos por la disminución del peso al destete del ternero, pero por otro lado podría reducir la eliminación de vacas durante los primeros años de edad.

Roberts et al. (2015) afirman que el aumento de la retención de vacas jóvenes reduce la tasa de reposición logrando aumentar el porcentaje de vacas en el rebaño con el máximo potencial de producción de kg al destete en razas de vacuno de carne. La valoración económica de un destete precoz es compleja y depende de los niveles de alimentación de la madre y de los costes del engorde posterior de dichos terneros (Blanco et al., 2008).

Las vacas de la raza Parda de Montaña son más precoces que las Pirenaicas. Llegaron a los 700 días de vida con más peso, alcanzando, sin embargo, un peso adulto similar. La edad al primer parto fue mayor en la raza Pirenaica. Esta diferencia es debida a las condiciones propias de la explotación experimental, caracterizadas, principalmente, por un menor censo de vacas de raza Pirenaica y por la concentración mayoritaria de los primeros partos en primavera, a la edad de tres años.

Por otro lado, las vacas de raza Parda de Montaña siguieron el manejo de doble época de parto, lo que implica que, en algunos casos, se puede reducir la edad al primer parto hasta los dos años y medio aproximadamente. Aunque no se encontraron diferencias significativas, las vacas de la raza Parda de Montaña produjeron más terneros vivos, destetados y kg de ternero destetado, con un menor intervalo entre partos y con mayor edad a la baja.

La época de nacimiento es un efecto muy ligado al manejo de la explotación, que afecta de manera importante a la productividad de las vacas. El manejo del rebaño en dos épocas de parto favorece la tendencia a adelantar la edad al primer parto de las novillas a los dos años y medio de edad, organizando la recría para que las terneras que nacen en primavera tengan su primer parto en la paridera de otoño y viceversa. En cambio, si se agrupan los partos en una única paridera, las vacas parirán por primera vez alrededor de los tres años de edad, en la misma época de parto en que han nacido.

Las vacas nacidas en primavera tuvieron una mayor edad a la baja, lo que les permitió producir más terneros nacidos vivos, destetados y kg de ternero destetados. En la misma dirección Szabó y Dákay (2009) encontraron, en razas de vacuno de carne, que las vacas que paren por primera vez en primavera y que dado su edad media al primer parto de 2.9 años indicaría que en general también han nacido en primavera, tenían una mayor longevidad que las vacas que parieron por primera vez en otoño y que supuestamente también nacieron en otoño.

Las diferencias en comportamiento reproductivo y productivo en función de la época del nacimiento son una constante en la bibliografía. Si no consideremos los posibles efectos del fotoperiodo, muy discutidos y discutibles en la mayoría de razas europeas explotadas en nuestras condiciones (Hansen, 1985) y no evidenciados en condiciones del Pirineo trabajando con animales de razas Parda de Montaña y Pirenaica (Blasco, 1991; Sanz et al., 2004), las principales diferencias encontradas pueden relacionarse directamente con las interacciones existentes entre época de parto y otros factores, principalmente los nutricionales ligados a la estación, a la duración de la estación de pastoreo y a la calidad del pasto disponible durante este período (D'Hour et al., 1998), principal factor que determina las posibilidades de recuperación de peso y reservas corporales en el ciclo anual de producción.

En las condiciones del presente trabajo, es el otoño la época de partos que mejor se adapta a las condiciones de la montaña pirenaica (Casasús et al., 2002). Las vacas con parto de otoño, que se encuentran en la parte media o final de la gestación cuando suben al pastoreo de puerto de montaña, tienen unas necesidades nutricionales menores que las vacas que paren en primavera y están lactantes en el puerto. Además, un alto porcentaje de la energía consumida puede destinarse a la recuperación de peso, lo que asegura llegar al parto con una alta condición corporal. En las condiciones de la montaña pirenaica, en años especialmente secos y con escasa calidad del pasto disponible, las vacas gestantes y lactantes con parto en primavera pueden perder condición corporal durante la estación de pastoreo, lo que puede inclusive afectar a la productividad de su futura hija (Funston et al., 2010; Wu et al., 2006).

Como se ha indicado, la alimentación de la madre según la época de parto puede ser muy diferente. Los partos de otoño van precedidos de la estancia de las vacas en los puertos mientras que los partos de primavera van precedidos de una etapa de estabulación. En este sentido, Roberts et al. (2016) afirman que la alimentación de la madre de la ternera durante la gestación puede afectar a la productividad absoluta y a la longevidad de la ésta. La mayor edad a la baja observada en las vacas nacidas en primavera, paralelamente a la peor la alimentación de las madres durante la gestación, también puede estar influida por diferencias en el manejo de la alimentación en las novillas. Las novillas nacidas en primavera suben por primera vez a puerto con su madre durante la lactación, mientras que las nacidas en otoño suben por primera vez a puerto después del primer parto. Las terneras que subieron al puerto con su madre

pueden haber realizado un aprendizaje que afectará a su comportamiento como vacas en las zonas de puerto (Orr et al., 2014). Otros factores que podrían estar relacionados con las diferencias entre épocas de partos son los cambios en el fotoperiodo (Schillo et al., 1992), aspectos discutibles en las principales razas de carne de tronco europeo (Hauser, 1984) y no evidenciados en raza Parda de Montaña ni en la duración del anestro post-parto, ni en la aparición de la pubertad (Blasco, 1991; Olleta et al., 1991).

Existe una confusión entre la productividad anual, entendida por kg de ternero destetado que vende el ganadero y que está directamente relacionada con los ingresos anuales de la explotación (Åby et al., 2012) y la productividad total, entendida por la productividad multiplicada por la longevidad. En este sentido Mousel et al. (2014) afirman que la longevidad junto a la productividad son los factores que más efecto tienen sobre la rentabilidad de las explotaciones en vacuno de carne. En la mayoría de rebaños de vacas nodrizas es la productividad anual la que se tiene en cuenta para la toma de decisiones, incluso en los programas de mejora genética a nivel de las razas es de los objetivos de selección más importantes.

5.5 Conclusiones

En las condiciones experimentales en que se ha realizado el trabajado, y pese a las diferencias significativas encontradas en ocasiones, la totalidad de animales llegaron al parto con unos pesos y tasas de madurez muy superiores a las que podrían encontrarse en condiciones de una explotación comercial. Pese a ello, la tasa de madurez a los 700 días ha presentado efectos sobre la producción de terneros y de kg destetados, la edad a la baja y el intervalo entre partos.

Mantener unas pautas adecuadas de manejo alimenticio durante la recría para asegurar que lleguen al primer parto con una tasa de madurez adecuada, se traduce en una mayor productividad y longevidad.

Reducir la edad al primer parto de tres a dos años y medio no supone ninguna pérdida de productividad, siempre y cuando las novillas lleguen al parto con una tasa de madurez adecuada.

La longevidad y la productividad anual, de manera conjunta, deberían ser tenidas en cuenta a la hora de la mejora de la rentabilidad de las explotaciones de vacuno de carne.

5.6 Referencias bibliográficas

Åby, B.A., Aass, L., Sehested, E., Vangen, O., 2012. A bio-economic model for calculating economic values of traits for intensive and extensive beef cattle breeds. *Livest. Sci.* 143, 259–269.

Arthur, P.F., Makarechian, M., Berg, R.T., Weingardt, R., 1993. Longevity and lifetime productivity of cows in a purebred Hereford and two multibreed synthetic groups under range conditions. *J. Anim. Sci.* 71, 1142–1147.

Blanco, M., 2007. Repercusión del destete precoz y la suplementación sobre las pautas de crecimiento y desarrollo de los terneros. Tesis doctoral. Universitat de Lleida.

Blanco, M., Villalba, D., Ripoll, G., Sauerwein, H., Casasús, I., 2008. 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. *Anim. Int. J. Anim. Biosci.* 2, 779–789.

Blasco, I., 1991. Influencia de diversos factores de explotación sobre las características reproductivas del período post-parto en ganado vacuno de montaña. Universidad de Zaragoza.

Brown, J.E., Brown, C.J., Butts, W.T., 1972. A Discussion of the Genetic Aspects of Weight, Mature Weight and Rate of Maturing in Hereford and Angus Cattle. *J. Anim. Sci.* 34, 525–537.

Cano, G., Blanco, M., Casasús, I., Cortés-Lacruz, X., Villalba, D., 2016. Comparison of B-splines and non-linear functions to describe growth patterns and predict mature weight of female beef cattle. *Anim. Prod. Sci.* 56, 1787–1796.

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. *J. Anim. Sci.* 80, 1638–1651.

Cortés-Lacruz, X., Revilla, R., Casasús, I., Sanz, A., Ferrer, J., Banzo, P., Villalba, D., 2016. Evaluación genética de la facilidad de parto en la raza bovina Parda de Montaña usando los modelos lineal y umbral. ITEA-Información Técnica Económica Agraria, ITEA-47901, 113-3.

Day, M.L., Nogueira, G.P., 2013. Management of age at puberty in beef heifers to optimize efficiency of beef production. *Anim. Front.* 3, 6–11.

D'Hour, P., Revilla, R., Wrigth, I.A., 1998. Possible adjustment of suckler herd management to extensive situations. *Ann. Zootech.* 47, 453-464.

- Ducrocq, V., Quaas, R.L., Pollak, E.J., Casella, G.,** 1988. Length of Productive Life of Dairy Cows. 1. Justification of a Weibull Model. *J. Dairy Sci.* 71, 3061–3070.
- Endecott, R.L., Funston, R.N., Mulliniks, J.T., Roberts, A.J.,** 2013. Joint Alpharma-Beef Species Symposium: Implications of beef heifer development systems and lifetime productivity. *J. Anim. Sci.* 91, 1329–1335.
- Essl, A.,** 1998. Longevity in dairy cattle breeding: a review. *Livest. Prod. Sci.* 57, 79–89.
- Funston, R.N., Larson, D.M., Vonnahme, K.A.,** 2010. Effects of maternal nutrition on conceptus growth and offspring performance: implications for beef cattle production. *J. Anim. Sci.* 88, E205-215.
- Hansen, P.J.,** 1985. Seasonal modulation of puberty and the post-partum anoestrus in cattle: A review. *Liv. Prod. Sci.*, 12: 309-3027.
- Hauser, E.R.,** 1984. Seasonal effects on female reproduction in the bovine. *Theriogenology.* 211, 150-169.
- Jamrozik, J., McGrath, S., Kemp, R.A., Miller, S.P.,** 2013. Estimates of genetic parameters for stayability to consecutive calvings of Canadian Simmentals by random regression models. *J. Anim. Sci.* 91, 3634–3643.
- López de Torre, G., Candotti, J., Reverter, A., Bellido, M., Vasco, P., Garcia, L., Brinks, J.,** 1992. Effects of Growth Curve Parameters on Cow Efficiency. *J. Anim. Sci.* 70, 2668–2672.
- Manrique, E., Revilla, R., Olaizola, A., Bernues, A.,** 1992. Los sistemas de producción de vacuno en montaña y su dependencia de los condicionantes del entorno. *BOVIS:* 46. 9-42.
- Mészáros, G., Sölkner, J., Ducrocq, V.,** 2013. The Survival Kit: Software to analyze survival data including possibly correlated random effects. *Comput. Methods Programs Biomed.* 110, 503–510.
- Mousel, E.M., Cushman, R.A., Perry, G.A., Kill, L.K.,** 2014. Effect of heifer calving date on longevity and lifetime productivity. *Driftless Region Beef Conference.* 30-31 Enero. Dubuque, Iowa.
- Olleta, J.L., Revilla, R., Blasco, L., San Juan, L.,** 1991. Inicio de la pubertad en novillas de montaña: Efecto de la raza y del crecimiento durante la recría. *I.T.E.A. Producción Animal Vol. extra N° 11:* 94-96.

- Oltenacu, P.A., Broom, D.M.,** 2010. The impact of genetic selection for increased milk yield on the welfare of dairy cows. *Anim. Welf.* 19, 39–49.
- Orr, R.J., Tallowin, J.R.B., Griffith, B.A., Rutter, S.M.,** 2014. Effects of livestock breed and rearing experience on foraging behaviour of yearling beef cattle grazing unimproved grasslands. *Grass Forage Sci.* 69, 90–103.
- Petit, M.,** 1973. Possibilités de faire v eler a deux ans les génisses destin es à la boucherie. *Buul.Techn. C.R.Z.V. de Theix.* 13, 5-18.
- Petit, M.,** 1974: Le v elage a deux ans Dans les troupeaux de vaches allaitantes: *Suppl.Bull. Techn. De C.R.V.Z. Theix,* n  spec. 231-248.
- Petit, M., Malterre, C.,** 1974. V elage a deux ans des génisses destin es à la boucherie. *Suppl.Bull. Techn. De C.R.V.Z. Theix,* n  spec. ,65-72.
- Revilla, R., Olleta, J.L., San Juan, L., Blasco, I.,** 1989. Recr a y manejo de novillas en condiciones de monta a. *BOVIS* 46:45-65.
- Roberts, A.J., Funston, R.N., Grings, E.E., Petersen, M.K.,** 2016. Triennial Reproduction Symposium: Beef heifer development and lifetime productivity in rangeland-based production systems. *J. Anim. Sci.* 94, 2705–2715.
- Roberts, A.J., Petersen, M.K., Funston, R.N.,** 2015. Beef Species Symposium: Can we build the cowherd by increasing longevity of females? *J. Anim. Sci.* 93, 4235–4243.
- Rodríguez-Sánchez, J.A., Sanz, A., Tamanini, C., Casasús, I.,** 2015. Metabolic, endocrine, and reproductive responses of beef heifers submitted to different growth strategies during the lactation and rearing periods. *J. Anim. Sci.* 93, 3871.
- Rogers, P.L., Gaskins, C.T., Johnson, K.A., MacNeil, M.D.,** 2004. Evaluating longevity of composite beef females using survival analysis techniques. *J. Anim. Sci.* 82, 860–866.
- San Juan, L.,** 1993. Efecto de los niveles de alimentación pre y post parto y de la intensidad de amamantamiento sobre los rendimientos reproductivos y productivos de vacas de carne explotadas en condiciones de montaña. Universidad de Zaragoza.
- 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. *Livest. Prod. Sci.* 86, 179–191.
- Schillo, K., Hall, J., Hileman, S.,** 1992. Effects of Nutrition and Season on the Onset of Puberty in the Beef Heifer. *J. Anim. Sci.* 70, 3994–4005.

Stewart, T.S., Martin, T.G., 1981. Mature weight, maturation rate, maternal performance and their interrelationships in purebred and crossbred cows of angus and milking shorthorn parentage. *J. Anim. Sci.* 52, 51–56.

Szabó, F., Dákay, I., 2009. Estimation of some productive and reproductive effects on longevity of beef cows using survival analysis. *Livest. Sci.* 122, 271–275.

Villalba, D., Casasús, I., Sanz, A., Estany, J., Revilla, R., 2000. Preweaning growth curves in Brown Swiss and Pirenaica calves with emphasis on individual variability. *J. Anim. Sci.* 78, 1132–40.

Wu, G., Bazer, F.W., Wallace, J.M., Spencer, T.E., 2006. Board-invited review: intrauterine growth retardation: implications for the animal sciences. *J. Anim. Sci.* 84, 2316–2337.

Yazdi, M.H., Rydhmer, L., Ringmar-Cederberg, E., Lundeheim, N., Johansson, K., 2000. Genetic study of longevity in Swedish Landrace sows. *Livest. Prod. Sci.* 63, 255–264.

**6 CAPÍTULO IV - EFECTO DEL TIPO GENÉTICO
SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y LA
LONGEVIDAD EN LA RAZA PARDA DE
MONTAÑA**

Este capítulo dará lugar a un manuscrito que será enviado a la revista *Animal*.

6.1 Introducción

La selección que se está llevando a cabo actualmente en la raza Parda de Montaña está basada en los caracteres facilidad de parto, peso al nacimiento y peso al destete. Según la opinión de los ganaderos, de estos tres caracteres el que les parece más interesante de mejorar es la facilidad de parto, seguida por el peso al destete, pero con menor importancia (Cortés-Lacruz et al., 2017). En el caso del peso al destete, una selección positiva sobre este carácter puede producir cambios en la población a lo largo del tiempo pudiendo dar lugar a animales de distinto tipo genético. La correlación genética entre peso al destete y producción de leche puede ser negativa (McHugh et al., 2014), por lo tanto puede ser que se esté perdiendo producción lechera en la población y paralelamente obtener indirectamente animales con mayor peso adulto debido a la correlación genética entre el peso al destete y el peso adulto (+0,66 según Meyer, 1995). La selección que se está llevando a cabo en la mayoría de explotaciones consiste en elegir como futuros reproductores los hijos e hijas de vacas y toros con gran conformación y de elevado peso, lo que también puede dar lugar a un aumento del peso adulto de la población. El aumento de peso al destete y peso adulto puede retrasar la edad a la pubertad (Cundiff, 1988), con los inconvenientes que esto conlleva.

En este contexto se puede hablar de tipos genéticos como combinaciones de diferentes niveles en los caracteres más importantes (facilidad de parto, peso al destete, producción de leche, carácter maternal, peso adulto,...). La decisión sobre el mejor tipo genético para un determinado sistema de explotación se debería basar en su productividad al cabo de su vida útil.

El objetivo de este capítulo es relacionar los valores genéticos los caracteres de interés en la vaca nodriza con la longevidad y la productividad de los animales a lo largo de su vida productiva.

6.2 Material y métodos

Los datos de productividad se obtuvieron de la base de datos de la finca experimental “La Garcipollera” (España, 42° 37’ N; 0° 30’ W; 945 m sobre el nivel del mar) situada en la zona sur de los Pirineos. Se disponía de 2.123 registros de partos de 482 vacas de la Raza Parda de Montaña con al menos un parto, nacidas entre los años 1985 y 2010.

Las variables utilizadas para medir la productividad absoluta y la evolución de la productividad anual fueron el número de terneros nacidos vivos totales, el número de terneros destetados totales, los kg de ternero destetados totales (ver capítulo III para una descripción de los cálculos), y el intervalo entre partos, en valores absolutos y por edad a la baja de la vaca.

A partir de la base de datos de producción y de la genealogía presentada en el capítulo II, se estimaron los valores genéticos de las 482 vacas para los caracteres facilidad de parto (FP), peso al nacimiento (PN), peso a los 90 días directo y materno (P90 y P90m.), peso al destete directo y materno (P150 y P150m), peso adulto (PA) y producción de leche (PL150). El modelo animal (1) se utilizó para la evaluación de los caracteres facilidad de parto (FP), peso al nacimiento (PN), peso a los 90 días (P90), peso al destete (P150) y para el peso adulto (PA). Para la evaluación de la producción de leche (PL150) se utilizó el modelo animal (2).

$$(1) Y_{ijklmno} = \mu + S_i + O_j + A_k + YS_l + d_m + m_n + PE_o + e_{ijklmno}$$

Dónde $Y_{ijklmno}$ = carácter estudiado, μ = media poblacional, S_i = efecto sexo (Hembra, Macho), O_j = efecto número de parto (1, 2, >2), A_k = efecto edad (años) al primer parto (<2,5, 2,5-3, >3), YS_l = efecto aleatorio año-estación, d_m = efecto genético aditivo del ternero asociado con la observación $Y_{ijklmno}$, m_n = efecto genético aditivo de la madre asociado con la observación $Y_{ijklmno}$, PE_o = efecto ambiental permanente de la madre, $e_{ijklmno}$ = efecto residual.

$$(2) Y_{ijklmnopq} = \mu + S_i + C_j + M_k + O_l + CxE_m + A_n + YS_o + d_p + PE_q + e_{ijklmnopq}$$

Dónde $Y_{ijklmnopq}$ = carácter estudiado, μ = media poblacional, S_i = efecto sexo (Hembra, Macho), C_j = efecto suplementación con concentrado del ternero (Si, No), M_k = efecto tetada del ternero (Libre, Restringida), O_l = efecto número de parto (1, 2, >2), CxE_m = efecto interacción entre la condición corporal y la energía ingerida en la ración, A_n = efecto edad (años) al primer parto (<2,5, 2,5-3, >3), YS_o = efecto aleatorio año-estación, d_p = efecto genético aditivo del ternero asociado con la observación $Y_{ijklmnopq}$, PE_q = efecto ambiental permanente, $e_{ijklmnopq}$ = efecto residual.

Para obtener las correlaciones entre los valores genéticos de los caracteres en las vacas incluidas en el análisis de productividad se realizó un análisis multivariante con el software de análisis estadístico JMP pro12 del SAS[®] (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Posteriormente se agruparon a las vacas en conglomerados (tipos genéticos) generados a

partir de su parecido a nivel de valor genético mediante el método de *k-means clustering* del software de análisis estadístico JMP pro12 del SAS® (SAS Inst. Inc., Cary, NC).

Para evaluar la productividad absoluta de las vacas solo se utilizaron los registros de las vacas que habían acabado su vida productiva y que habían destetado por lo menos un ternero en el momento del cierre de la base de datos, siendo 357 el número de vacas disponible para el análisis. Los efectos que se incluyeron en el modelo de análisis de la productividad absoluta (3) fueron los efectos de manejo estudiados en el capítulo III más el efecto conglomerado (tipo genético). La tasa de madurez categorizada mediante terciles (alta, media y baja) a los 700 días de vida (de edad en el que se produce la cubrición) en porcentaje de su peso adulto. La agrupación de partos en dos parideras junto con la gestión de la edad al primer parto realizada en la finca experimental conduce a dos grupos de edades al primer parto claramente diferenciados (parto a los 2,5 años y parto a los 3 años). Finalmente, se incluyó la época de nacimiento de la vaca (otoño entre septiembre y diciembre y primavera entre febrero y mayo).

$$(3) Y_{ijklm} = \mu + M_i + E_j + EN_k + C_1 + e_{ijklm}$$

Dónde: Y_{ijklm} = variable número de terneros nacidos vivos totales o número de terneros destetados totales o kg de ternero destetados totales en valores absolutos y por año de vida de la vaca; μ = media poblacional; M_i = efecto tasa de madurez a los 700 días; E_j = efecto edad al primer parto; EN_k = efecto época de nacimiento; C_1 = efecto conglomerado; e_{ijklm} = residuo del modelo.

El análisis de la evolución de la productividad de las vacas se realizó a partir de los 2.123 registros de partos de las 482 vacas disponibles, mediante un modelo de regresión de orden cúbico con coeficientes aleatorios que permitió estimar las medias de los niveles de los efectos en cada año de vida de las vacas (4).

$$(4) Y_{ij} = a_m + a_{ed} + a_{en} + a_c + A_i + (b_m + b_{ed} + b_{en} + b_c + B_i) k + (c_m + c_{ed} + c_{en} + c_c + C_i) k^2 + (d_m + d_{ed} + d_{en} + d_c + D_i) k^3 + e_{ij}$$

Dónde: Y_{ij} = variable número de terneros nacidos vivos totales o número de terneros destetados totales o kg de ternero destetados totales en valores absolutos y por año de vida de la vaca; m = efecto tasa de madurez a los 700 días; ed = efecto edad al primer parto; en = efecto época de nacimiento; c = efecto conglomerado; A_i , B_i , C_i y D_i = efectos aleatorios del animal i sobre el intercepto, coeficiente lineal, cuadrático y cúbico, respectivamente; k = edad de la vaca (años); e_{ij} = residuo del modelo.

El análisis de la productividad absoluta y su evolución por año de vida de la vaca se realizó mediante el software de análisis estadístico JMP pro12 del SAS® (SAS Inst. Inc., Cary, NC).

Para analizar la longevidad se utilizó la variable edad de la vaca en el momento de la eliminación, incluyendo las vacas eliminadas voluntariamente y las eliminadas por razones ajenas a su producción (sanitarias principalmente).

El número de vacas disponibles para el análisis fue de 482. Los registros de las vacas que en el momento del cierre de la base de datos seguían vivas se consideraron como censurados para el análisis de supervivencia. El modelo de análisis de la supervivencia fue el de riesgos proporcionales basado en la distribución Weibull (5) que se solucionó con el software The Survival Kit (Mészáros et al., 2013).

$$(5) \lambda(t) = \lambda_0(t) \exp (en_i + c_j + l_k)$$

Dónde: $\lambda(t)$ = función de riesgo (probabilidad instantánea de baja) para una vaca a tiempo t (días); $\lambda_0(t)$ = función base de Weibull con un parámetro de escala λ y uno de forma ρ ; en_i = efecto fijo dependiente del tiempo de la época de nacimiento; c_j = efecto fijo dependiente del tiempo del conglomerado; l_k = efecto fijo dependiente del tiempo del lustro en que nació la vaca.

6.3 Resultados y discusión

Las correlaciones entre los valores genéticos de los caracteres para el conjunto de vacas en las que se estudió la productividad se muestran en la Tabla 26. Las correlaciones entre PN, P90, P150, P90m, P150m, PA y PL150 son similares a las obtenidas con el conjunto de la población en la estimación de parámetros genéticos del capítulo II. Las correlaciones de las componentes genéticas de los diferentes pesos y de la producción de leche con la facilidad de parto aparecen en este capítulo por primera vez. La correlación genética obtenida entre PN y FP es similar a la obtenida por Vostry et al. (2015). Según Naazie et al. (1990) el peso al nacimiento, expresado como porcentaje del peso adulto de la vaca, puede explicar hasta el 30% de la varianza de la facilidad de parto. Bennett y Gregory (2001) encontraron una correlación genética entre peso al destete y FP de 0,35, superior a la encontrada en este capítulo para P90 y P150. La correlación genética entre P90m y P150m y FP es similar a la obtenida por Gutiérrez et al. (2007) para el efecto materno del peso al destete. La correlación genética entre PL150 y FP fue superior a la encontrada por Eaglen et al. (2013).

En la Tabla 27 se pueden observar los valores genéticos de los diferentes caracteres en función de los factores que afectaban a la productividad, según lo presentado en el capítulo III.

Tabla 26: Correlaciones entre los valores genéticos de los diferentes caracteres.

	PN	P90	P150	P90m	P150m	PA	PL150
FP	0,175	0,017	0,002	-0,086	-0,041	0,082	0,003
PN		0,643	0,580	-0,278	-0,191	0,760	0,595
P90			0,979	-0,182	-0,263	0,871	0,765
P150				-0,311	-0,426	0,905	0,675
P90m					0,931	-0,608	0,397
P150m						-0,621	0,283
PA							0,471

Tabla 27: Valores genéticos medios y error estándar (ee) en función de la tasa de madurez a los 700 días, la edad al primer parto y la época nacimiento.

	Tasa de madurez a los 700 días			Edad al primer parto		Época de nacimiento	
	alta	media	baja	2,5	3	Primavera	Otoño
FP	-0,324 (0,011)	-0,042 (0,011)	-0,024 (0,011)	-0,036 (0,007)	-0,029 (0,011)	-0,024 (0,011)	-0,041 (0,008)
PN	-0,785b (0,3)	0,134a (0,312)	0,734a (0,323)	0,059 (0,207)	-0,004 (0,321)	0,326 (0,304)	-0,271 (0,223)
P90	-2,243c (0,588)	0,050b (0,612)	1,703a (0,635)	-0,292 (0,407)	-0,033 (0,63)	0,106 (0,597)	-0,432 (0,438)
P150	-3,225b (0,661)	-0,385a (0,688)	1,159a (0,713)	-0,881 (0,457)	-0,753 (0,708)	-0,574 (0,671)	-1,059 (0,492)
PA	-6,350b (1,02)	-1,338a (1,06)	1,374a (1,1)	-1,817 (0,7)	-2,392 (1,09)	-1,602 (1,03)	-2,606 (0,75)
P90m	1,122a (0,161)	0,551b (0,167)	0,358b (0,174)	0,5197 (0,111)	0,8358 (0,172)	0,6926 (0,163)	0,6628 (0,12)
P150m	1,314a (0,187)	0,695b (0,195)	0,718b (0,202)	0,735 (0,129)	1,083 (0,201)	0,922 (0,19)	0,896 (0,139)
PL150	2,503 (4,899)	10,959 (5,097)	15,565 (5,285)	5,991 (3,389)	13,36 (5,248)	13,348 (4,97)	6,003 (3,649)

¹Dentro de un efecto, estimas de los niveles con diferente superíndice son diferentes estadísticamente ($P < 0,05$)

No se encontraron diferencias para ninguno de los caracteres entre los niveles de edad al primer parto, ni entre los niveles de época de nacimiento. Por el contrario, en los niveles de tasa de madurez a los 700 días se observaron diferencias en todas las variables, menos en FP y PL150. Las vacas con una tasa de madurez alta a los 700 días presentaron un menor valor genético para PN, P90, P150, PA y un mayor valor genético para P90m y P150m que las vacas con una tasa de madurez media y baja ($P < 0,05$). La asociación entre el valor genético y la madurez de las vacas para los caracteres relacionados con el peso se puede interpretar de dos formas: i) como un efecto de la genética que condiciona el rendimiento de los animales a nivel de granja; ii) como un sesgo en la estima de los valores genéticos ya que en el modelo de evaluación genética no se incluye el efecto ambiental tasa de madurez a los 700 días.

Tabla 28: Número óptimo de conglomerados mediante el criterio Cubic clustering criterion (CCC).

Método	N.º de conglomerado	CCC	Mejor
<i>k-means clustering</i>	3	-9,5811	CCC óptimo
	4	-9,9502	
	5	-10,434	
	6	-11,24	
	7	-10,26	
	8	-11,171	

El número de conglomerados (tipos genéticos) óptimo teniendo en cuenta el criterio *cubic clustering criterion* (CCC) fue de 3 (Tabla 28).

El número de vacas para los conglomerados 1, 2 y 3 fue de 183, 146 y 153 respectivamente. La edad al primer parto y la época de nacimiento estaban igualmente distribuidos en los tres conglomerados (test chi-cuadrado $P = 0,7713$ y $P = 0,9006$ respectivamente). En cambio existe una asociación entre la tasa de madurez y el conglomerado (test chi-cuadrado $P = 0,0012$), que se correspondía con un mayor porcentaje de vacas de madurez alta en el conglomerado 1 en comparación con los conglomerados 2 y 3.

Tabla 29: Medias y error standard (ee) de las variables de los valores genéticos según el tipo genético (conglomerado).

	Tipo I		Tipo II		Tipo III	
	Media	ee	Media	ee	Media	ee
FP	-0,044 ^{ab}	0,010	-0,057 ^b	0,012	-0,014 ^a	0,011
PN	-2,965 ^c	0,224	1,132 ^b	0,262	2,142 ^a	0,249
P90	-7,507 ^c	0,371	3,237 ^b	0,435	4,787 ^a	0,413
P150	-8,839 ^c	0,414	1,798 ^b	0,485	5,788 ^a	0,461
P90m	0,983 ^b	0,113	2,210 ^a	0,132	-1,290 ^c	0,125
P150m	1,466 ^b	0,129	2,540 ^a	0,151	-1,474 ^c	0,143
PA	-13,679 ^c	0,616	-1,579 ^b	0,721	10,617 ^a	0,685
PL150	-42,877 ^c	3,295	62,529 ^a	3,860	13,735 ^b	3,666

¹Estimas de los tipos genéticos con diferente superíndice son diferentes estadísticamente ($P < 0,05$)

Tabla 30: Medias y error estándar (ee) de los tipos genéticos para la tasa de madurez a los 700 días, edad al primer parto, ganancia media diaria hasta los 700 días, peso a los 700 días y peso adulto.

Tipo genético	I	II	III	
Nº de vacas	183	146	153	
Tasa de madurez 700 días (%)	Media	82,01 ^a	80,33 ^b	78,97 ^b
	ee	0,46	0,51	0,51
Edad primer parto (años)	Media	2,53 ^b	2,62 ^a	2,58 ^{ab}
	ee	0,02	0,02	0,03
Gmd pn- p700 (kg)	Media	0,632 ^b	0,644 ^b	0,665 ^a
	ee	0,004	0,004	0,004
Peso 700 días (kg)	Media	480,54 ^c	493,80 ^b	509,59 ^a
	ee	3,11	3,41	3,47
Peso adulto (kg)	Media	586,73 ^c	615,59 ^b	646,33 ^a
	ee	3,54	3,89	3,95

¹Estimas de los tipos genéticos con diferente superíndice son diferentes estadísticamente ($P < 0,05$)

A partir de los resultados de la Tabla 29 se pueden definir los tres tipos genéticos de vacas:

El *tipo I* (conglomerado 1) comprende vacas de tamaño pequeño, con un valor genético directo de crecimiento y peso al nacimiento bajo, con un buen efecto materno y poca producción de leche.

Las vacas del *tipo II* (conglomerado 2) representarían vacas medias respecto al peso adulto, peso nacimiento y crecimiento, con buena facilidad de parto, un alto efecto materno y una elevada producción de leche.

Las vacas del *tipo III* (conglomerado 3) presentarían tamaño grande, con un valor genético directo para crecimiento y peso al nacimiento elevado, con más problemas de partos, poco efecto materno y una producción de leche media.

En la Tabla 30 se presentan las medias de productividad para los tipos genéticos incluidos en el análisis. Las vacas de tipo I presentaban una mayor tasa de madurez a los 700 días, un menor peso a los 700 días y un menor peso adulto que las vacas de tipo II y III ($P < 0,05$). Las vacas de tipo III presentaban un mayor crecimiento hasta los 700 días y un mayor peso adulto que las vacas de los tipos I y II ($P < 0,05$).

6.3.1 Productividad absoluta

Las estimas de las medias mínimo cuadráticas del análisis de productividad absoluta se muestran en la Tabla 31. Las vacas de tipo genético III produjeron más terneros vivos, más terneros destetados, más kg de ternero destetados totales y por año que las vacas de tipo I y II. Aunque estas diferencias en la producción son relevantes, no fueron significativas debido a la elevada variabilidad de los datos originada por las diferencias en la duración de la vida productiva entre las vacas. Las diferencias entre tipos genéticos para la edad a la baja y el intervalo entre partos fueron pequeñas ($P > 0,05$).

6.3.2 Evolución de la productividad

Aunque en el análisis de evolución de la productividad se han utilizado los datos de todas las vacas, en los resultados de evolución de la productividad no se han mostrado las medias estimadas a partir de los 14 años de vida, al estar obtenidas con un número muy reducido de animales y por tanto con un error de estimación muy grande.

En la Figura 14 se puede observar la evolución del número de terneros nacidos vivos, terneros destetados, kg de ternero destetados en valor absoluto y por año de vida.

El tipo genético de las vacas no afectó sobre los terneros nacidos vivos. Las vacas de tipo I produjeron, a los tres años de vida, más terneros destetados que las vacas de tipo II, $1,25 \pm 0,04$ y $1,12 \pm 0,05$ respectivamente ($P = 0,043$).

Si se analiza este primer parto, el porcentaje de vacas no productivas (vacas que acabaron su vida productiva sin destetar ningún ternero) estaba afectado por el tipo genético (test chi-cuadrado $P = 0,0468$) y fue superior en los tipos II y II ($12,7\%$ y $7,6\%$) comparado con el tipo I ($4,3\%$).

Las vacas del tipo III produjeron más kg de ternero destetados totales que las de tipo I a partir del sexto año de vida ($P < 0,05$). Los kg destetados por año aumentan hasta el año 8 o 9 de vida, situándose en ese momento en 101,6 y manteniéndose constante hasta los 13 años de vida. Aunque no se encontraron diferencias significativas, se observó una tendencia ($P < 0,10$) a favor de las vacas de tipo III respecto a las de tipo I a partir del octavo año de vida.

Tabla 31: Medias mínimo cuadráticas y error estándar (ee) de los tipos genéticos para el número de terneros nacidos vivos y destetados, kg de ternero destetados totales y por año de vida, edad a la baja y el intervalo entre partos.

Tipo genético		I	II	III
Nº de vacas		183	146	153
Terneros nacidos vivos	Media	4,62	4,56	4,84
	ee	0,34	0,35	0,33
Terneros destetados	Media	4,21	4,17	4,45
	ee	0,32	0,33	0,31
Kg de ternero destetados	Media	671,40	709,42	759,99
	ee	55,33	57,96	54,35
Kg de ternero destetados por año de vida	Media	84,55	86,81	91,06
	ee	2,76	2,90	2,71
Edad baja (años)	Media	7,97	7,80	8,28
	ee	0,41	0,43	0,40
Intervalo entre partos (días)	Media	434,27	435,89	447,92
	ee	8,90	9,49	8,90

¹Estimas de los tipos genéticos con diferente superíndice son diferentes estadísticamente ($P < 0,05$)

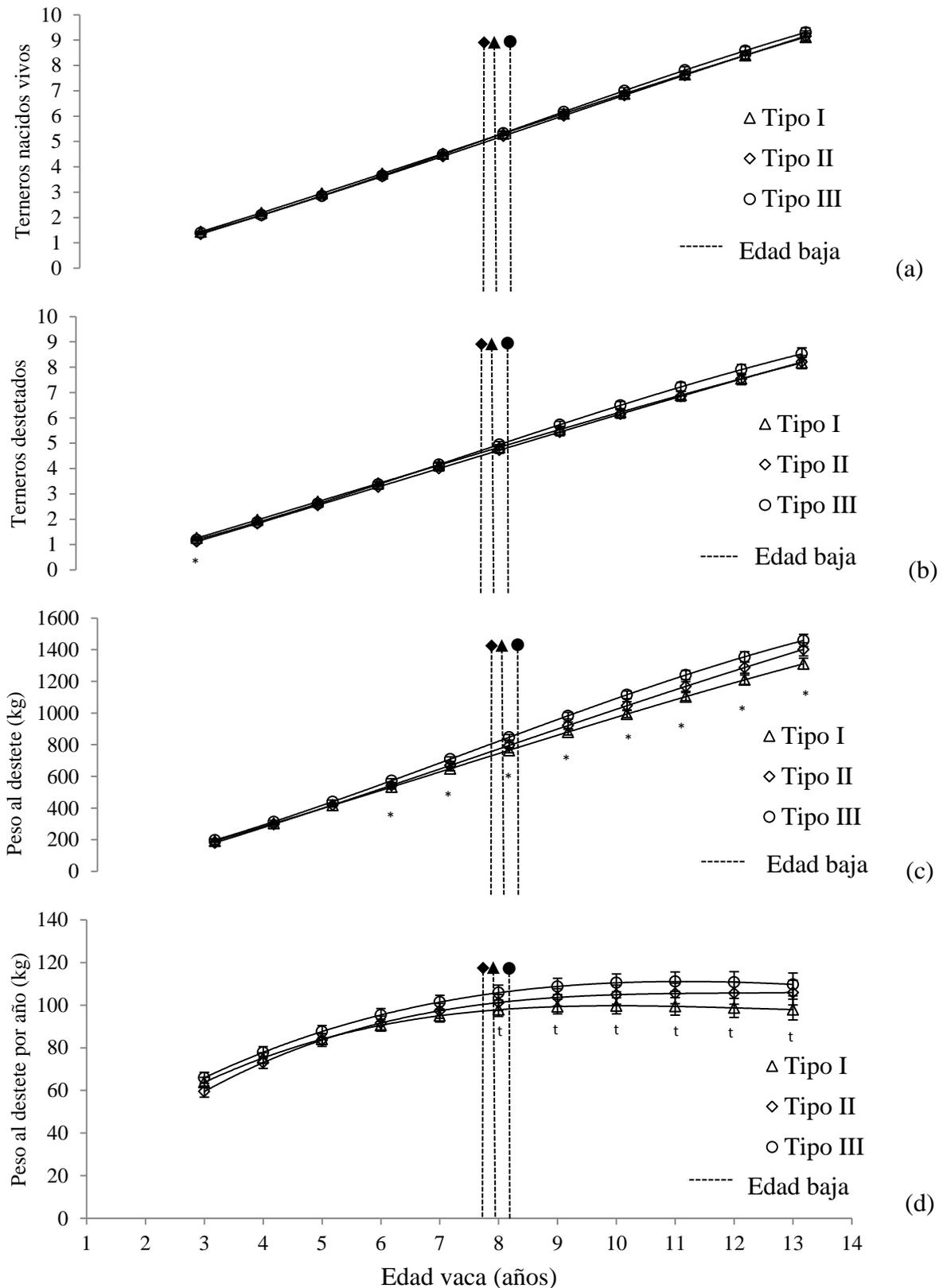


Figura 14: Número de terneros nacidos vivos (a), destetados (b), kg de ternero destetados en valor absoluto (c) y por año de vida (d) en función de la edad de la vaca por tipo genético. Dentro de cada variable y edad vaca el símbolo * denota un efecto significativo ($P < 0,05$) y t denota una tendencia ($P < 0,10$) del tipo genético.

6.3.3 *Análisis de supervivencia*

El modelo inicial para el análisis de supervivencia incluía, además de los efectos que se muestran en el modelo (5), la tasa de madurez a los 700 días y la edad al primer parto. Estos últimos efectos no afectaron a la supervivencia de forma significativa ($P = 0,38$ y $P = 0,14$ para madurez y edad al primer parto, respectivamente) y por lo tanto no se incluyeron en el modelo definitivo.

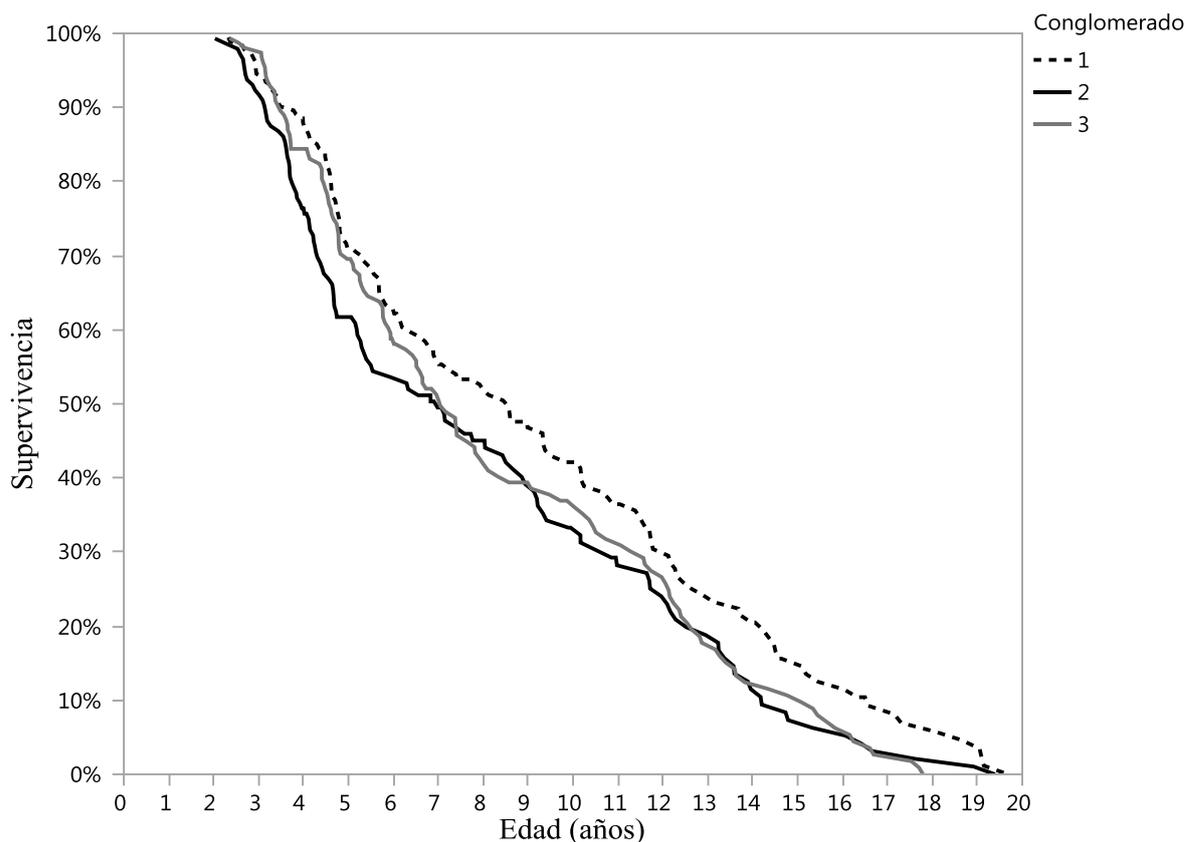


Figura 15: Evolución en el tiempo de la probabilidad de que una vaca permanezca viva en el rebaño para cada conglomerado.

Los resultados del análisis de supervivencia (Tabla 32) mostraron que las vacas pertenecientes al tipo genético I tenían menos probabilidad de ser eliminadas del rebaño que las vacas de los tipos II y III.

En la Figura 15 las curvas de supervivencia muestran que durante los primeros años de vida las vacas del tipo II tienen más probabilidad de ser eliminadas, mientras que las del tipo I en todo momento son las que tienen más probabilidad de sobrevivir.

Tabla 32: Estimaciones del riesgo relativo, y significación entre los niveles de los efectos.

Tipo genético	Nº de vacas	Prob >Chi2	Riesgo relativo
I (referencia)	183		
II	146	0,0127	1,374
III	153	0,0273	1,316

6.3.4 Costes económicos

En la Tabla 33 se presenta una aproximación a los ingresos y costes económicos de las vacas de los tipos extremos en cuanto a productividad, grupos I y III. Según estos resultados, podría ser más rentable tener en la explotación vacas de mayor peso adulto que desteten más terneros y que, pese a su peso superior, tienen unos costes de alimentación en el periodo de estabulación similares a los de una vaca más ligera. Además este beneficio podría ser mayor si durante la estabulación a todas las vacas se les administra una ración equivalente a la de las vacas más ligeras, asumiendo que podrían ser capaces de recuperar peso durante el pastoreo (Casasús et al., 2002).

Kluyts et al. (2007) afirman que el peso adulto de las vacas tiene un peso económico negativo, por lo tanto al aumentar el peso adulto se reducen los beneficios de la explotación. McMorris et al. (1986) encontraron que, dependiendo del sistema de producción, de los precios de venta del ternero y de los precios de los alimentos, el aumento del peso adulto puede dar lugar a márgenes de ganancia positivos.

El aumento del peso adulto está relacionado con el aumento de los costes de alimentación y de la recría (Fiss y Wilton, 1992; Jenkins y Ferrell, 1994), el aumento de problemas de parto y problemas reproductivos, que pueden derivar en una disminución de la longevidad y por último, la productividad y la eficiencia productiva se podrían reducir al aumentar el peso adulto de las vacas (Stewart y Martin, 1981; Marshall et al., 1984; López de Torre et al., 1992; Silva et al., 2015).

Según Brinks y Miller (1990) en condiciones de abundancia de alimento, las vacas de gran tamaño son más eficientes produciendo que las vacas más ligeras, por el contrario, Seifert y Rudder (1975) afirman que, en condiciones extremas, las vacas más ligeras son las más eficientes por sus menores necesidades.

Tabla 33: Comparación de ingresos por kg destetados y costes de alimentación entre las vacas de tipo genético I y III.

Tipo genético	I	III
Peso adulto (kg)	586	646
Coste alimentación ¹	1,31	1,36
Coste alimentación durante estabulación ²	157	163
Kg ternero destetados	646	759
Ingresos kg destetados ³	1615	1897
Beneficio ⁴	359	593

¹ Coste de la alimentación en base a un ensilado de una mezcla de gramíneas en € por vaca y día en vacas secas con 8-9 meses de gestación. ² Periodo de estabulación de 4 meses. ³ Ingresos de 2,5 € por kg de ternero destetado. ⁴ Ingresos destete totales menos costes alimentación teniendo en cuenta la vida media de las vacas de 8 años en €.

En este trabajo la diferencia entre el peso adulto medio de los dos tipos genéticos extremos (I y III) es aproximadamente de 60 kg (10%). En cambio, las diferencias entre razas seleccionadas desde hace muchos años para la producción cárnica, como la Charolesa o la Limusina y la Parda de Montaña es de 300 y 150 kg respectivamente (Cortés-Lacruz et al., 2017). La comparativa del peso adulto dentro de la misma raza y de un mismo rebaño puede dar lugar a diferencias pequeñas, debidas a la homogeneidad de los animales. Por el contrario, al comparar el peso adulto entre razas o entre rebaños de la misma raza seguramente se obtendrían resultados más relevantes.

Aunque no existen datos de variabilidad del peso adulto entre rebaños en la raza Parda de Montaña, los resultados del proyecto INIA RZ2006-00007-C03-1 “Caracterización morfológica y genética de la raza Parda de Montaña” aportan información sobre las medidas zoométricas de 240 vacas Parda de Montaña procedentes de 23 rebaños. A partir de los resultados del perímetro torácico (una de las medidas que predecía mejor el peso vivo de las vacas en las que también se había registrado el peso vivo) se puede afirmar que la variabilidad entre animales dentro de rebaño representa un 57 por ciento de la variabilidad total es muy superior a la variabilidad entre rebaños (un 42% del total). Utilizando el perímetro torácico y peso vivo de 25 vacas se obtiene una ecuación de predicción que, aunque con una R^2 modesta (0,84), permite una aproximación a la diferencia de peso medio entre el rebaño más pesado (668 ± 20 kg) y el más ligero (491 ± 16). Estas diferencias son muy superiores a las obtenidas entre los tipos genéticos del

estudio y plantean la importancia de la evaluación de la productividad y longevidad en un marco más amplio que el de este trabajo para confirmar o no los resultados obtenidos en cuanto al tipo genético. No podemos olvidar que, como indican Marshall et al., (1984), el tamaño óptimo de la vaca y sus relaciones con los parámetros productivos dependen, además de la raza, de su selección genética previa, del medio en que se explota y del sistema productivo.

6.4 Conclusiones

El conjunto de animales utilizado para el análisis no es lo suficiente heterogéneo para encontrar diferencias muy relevantes en la productividad entre los tipos genéticos establecidos.

Las vacas de tipo III (tamaño grande, elevado valor genético directo para crecimiento y peso al nacimiento, más problemas de partos, poco efecto materno y producción de leche media) son las más productivas en kg destetados por año. Las vacas de tipo I (tamaño pequeño, bajo valor genético directo de crecimiento y peso al nacimiento, buen efecto materno y poca producción de leche) son las que tienen menos probabilidad de ser eliminadas en todo momento. En determinadas condiciones de explotación, como las de nuestra experiencia, podría ser más interesante orientar la selección hacia vacas de mayor peso adulto (tipo III), que desteten más kg de ternero y que, pese a su superior peso adulto, tienen unos costes de alimentación en el periodo de estabulación similares a los de una vaca más ligera (tipo I).

6.5 Referencias bibliográficas

- Bennett, G.L., Gregory, K.E.**, 2001. Genetic (co)variances for calving difficulty score in composite and parental populations of beef cattle: I. Calving difficulty score, birth weight, weaning weight, and postweaning gain. *J. Anim. Sci.* 79, 45–51.
- Brinks, J.S., Miller, W.C.**, 1990. Optimizing cow size, milk level and labor by computer modeling. *Proc West Sec Anim Sci* 41, 152–155.
- 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. *J. Anim. Sci.* 80, 1638–1651.
- Cortés-Lacruz, X., Revilla, R., Casasús, I., Sanz, A., Ferrer, J., Banzo, P., Villalba, D.**, 2017. Evaluación genética de la facilidad de parto en la raza bovina Parda de

- Montaña usando los modelos lineal y umbral. ITEA-Información Técnica Económica Agraria, ITEA, 113-2.
- Cundiff, L.V.**, 1988. Sources of genetic variation in beef cattle. Natl. Breed. Roundtable Poult. Breed. Am. 1998 St Louis MO Proc. Neb. USDA Agric. Res. Serv. 74–104.
- Eaglen, S. a. E., Coffey, M.P., Woolliams, J.A., Wall, E.**, 2013. Direct and maternal genetic relationships between calving ease, gestation length, milk production, fertility, type, and lifespan of Holstein-Friesian primiparous cows. *J. Dairy Sci.* 96, 4015–4025.
- Fiss, C.F., Wilton, J.W.**, 1992. Contribution of breed, cow weight, and milk yield to the traits of heifers and cows in four beef breeding systems. *J. Anim. Sci.* 70, 3686–3696.
- Gutiérrez, J.P., Goyache, F., Fernández, I., Alvarez, I., Royo, L.J.**, 2007. Genetic relationships among calving ease, calving interval, birth weight, and weaning weight in the Asturiana de los Valles beef cattle breed. *J. Anim. Sci.* 85, 69–75.
- Jenkins, T.G., Ferrell, C.L.**, 1994. Productivity through weaning of nine breeds of cattle under varying feed availabilities: I. Initial evaluation. *J. Anim. Sci.* 72, 2787–2797.
- Kluyts, J.F., Bradfield, F.W.C.N. and M.J.**, 2007. Derivation of economic values for the Simmentaler breed in South Africa. *South Afr. J. Anim. Sci.* 37, 107–121.
- López de Torre, G., Candotti, J., Reverter, A., Bellido, M., Vasco, P., Garcia, L., Brinks, J.**, 1992. Effects of Growth Curve Parameters on Cow Efficiency. *J. Anim. Sci.* 70, 2668–2672.
- Marshall, T.E., Mohler, M.A., Stewart, T.S.**, 1984. Relationship of lifetime productivity with mature weight and maturation rate in Red Poll cows. *Anim. Sci.* 39, 383–387.
- McHugh, N., Cromie, A.R., Evans, R.D., Berry, D.P.**, 2014. Validation of national genetic evaluations for maternal beef cattle traits using Irish field data. *J. Anim. Sci.* 92, 1423–1432.
- McMorris, M.R., Wilton, J.W., Pfeiffer, W.C.**, 1986. Breeding system, cow weight and milk yield effects on various economic variables in beef production. *J. Anim. Sci.* 63, 1373–1383.

- Mészáros, G., Sölkner, J., Ducrocq, V.,** 2013. The Survival Kit: Software to analyze survival data including possibly correlated random effects. *Comput. Methods Programs Biomed.* 110, 503–510.
- Meyer, K.,** 1995. Estimates of genetic parameters for mature weight of Australian beef cows and its relationship to early growth and skeletal measures. *Livest. Prod. Sci.* 44, 125–137.
- Naazie, A., Makarechian, M.M., Berg, R.T.,** 1990. Factors influencing calving difficulty in beef heifers. *J. Anim. Sci.* 67, 3243–9.
- Seifert, G.W., Rudder, T.H.,** 1976. Genetic implications of selecting cattle for lage size. *Proceedings.*
- Silva, L.N., Gasparino, E., Torres Júnior, R.A.A., Euclides Filho, K., Silva, L.O.C., Alencar, M.M., Souza Júnior, M.D., Battistelli, J.V.F., Silva, S.C.C.,** 2015. Repeatability and genotypic correlations of reproductive and productive traits of crossbred beef cattle dams. *Genet. Mol. Res.* 14, 5310–5319.
- Stewart, T.S., Martin, T.G.,** 1981. Mature weight, maturation rate, maternal performance and their interrelationships in purebred and crossbred cows of angus and milking shorthorn parentage. *J. Anim. Sci.* 52, 51–56.
- Vostry, L., Milerski, M., Krupa, E., Vesela, Z., Vostra-Vydrova, H.,** 2015. Genetic relationships among calving ease, birth weight and perinatal calf survival in Charolais cattle. *Anim. Sci. Pap. Rep.* 33, 233–242.

7 DISCUSIÓN GENERAL

7.1 Situación actual de la raza Parda de Montaña

El Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España es la relación oficial y la clasificación de todas las razas y variedades ganaderas reconocidas en España como de interés económico, productivo o social, y que se recogen en el anexo I del Real Decreto 2129/2008.

Según la Orden AAA/1357/2016, de 29 de julio, por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 2129/2008, hay 39 razas de bovino reconocidas como autóctonas (8 de fomento y 31 en peligro de extinción). Muchas de estas razas autóctonas de ganado vacuno y sus asociaciones de criadores están pasando por momentos críticos.

Paralelamente a factores económicos, existen otros factores como la competencia con otras razas especializadas y la disminución de la implicación de los ganaderos, que ponen en riesgo la supervivencia de las asociaciones y por tanto también de un patrimonio genético que, según el espíritu del Real Decreto antes citado, es estratégico: “Así, la preservación de las razas ganaderas autóctonas forma parte de la Convención de Diversidad Biológica y la política de defensa de dichas razas está integrada en la Estrategia Española de Conservación y Uso Sostenible de la Diversidad Biológica”

Actualmente, y en concreto en la zona del Pirineo aragonés, el censo de vacas nodrizas de la raza autóctona Parda de Montaña (PM) está perdiendo terreno a favor de la raza Limusina. Anteriormente, esta raza era utilizada mayoritariamente como línea padre para obtener un cruce con una mayor aptitud cárnica, pero en la última década, el número de vacas madre de raza Limusina se ha ido incrementando (Tabla 34). Este hecho se está produciendo en otras regiones, siendo en muchas de las comunidades la Limusina la raza con mayor número de vacas nodrizas. Desde un punto de vista técnico, los ganaderos justifican el cambio atribuyendo a la raza Limusina tres ventajas sobre la raza Parda de Montaña: i) Una mayor facilidad de parto; ii) una mayor vitalidad del ternero en las primeras horas de vida; iii) un mayor precio de los terneros al destete.

En cuanto a la facilidad de parto, es uno de los caracteres incluidos desde el inicio del programa de mejora de la Parda de Montaña y las conclusiones extraídas de los datos disponibles (Capítulo I), demuestran que esta raza tiene una facilidad de parto (96,7% de partos normales) y un peso al nacimiento (41,8 kg) medios en comparación con otras razas de vacuno de carne habitualmente utilizadas en España, por lo que no existe un problema objetivo de partos difíciles en la raza, o por lo menos no puede evidenciarse a partir de la información aportada por los ganaderos.

Tabla 34: Comparativa del censo de vacas nodrizas en Aragón de las razas Parda de Montaña y Limusina.

Vacas nodrizas	Año			
	2009	2011	2014	2016
Total	37.734	40.774	42.707	44.931
Parda de Montaña	18.333	22.195	24.965	15.251
Parda Montaña (%)	48,6	54,4	58,4	33,9
Limusina (%)	5,8	7,9	9,8	*

*Dato no facilitado por parte de la Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. MAGRAMA (2015).

La mejora genética parece haber dado frutos, con un aumento del porcentaje de partos sin dificultad entre los años 2003 y 2014 (Cortés-Lacruz, 2017). Pero en la base de datos de ARAPARDA solo un 14% de registros de nacimientos entre el 2010 y el 2016 dispone de facilidad de parto, por lo que es posible que exista un problema no detectado. Por otro lado, el programa de mejora de la PM solo lleva 8 años en marcha, por lo que no se dispone de valores genéticos de facilidad de parto de machos con suficiente fiabilidad como para asegurar al ganadero que no tendrá problemas de parto si los utiliza, tanto en monta natural como mediante la inseminación artificial.

En estos momentos, el toro con mejor valor genético para la facilidad de parto disponible en el banco de semen de la raza tiene una fiabilidad del 87,6%. La mejora de esta fiabilidad, así como la obtención de nuevos candidatos que tuvieran precisiones más altas desde un primer momento podría pasar, entre otras actuaciones, por la utilización de las herramientas de la selección genómica.

En cuanto a la vitalidad del ternero, Maltecca et al. (2007) también describieron problemas de los ganaderos de la raza Brown Swiss (una de las razas que contribuyó históricamente a la formación de la Parda de Montaña) en la alimentación de los terneros, debido a la reducida capacidad de succión en los primeros días de vida. En su caso un 9% de los terneros no tetó, y un 34% lo hizo con ayuda. La mejora de este carácter se puede abordar incluyendo en el programa de mejora una valoración cualitativa por parte del ganadero de la capacidad de succión (no teta, con ayuda, sin ayuda). Según los mismos autores, la heredabilidad del carácter obtenida a 6 h o 12 h post nacimiento es de 0,26 y 0,23 respectivamente, lo que da una oportunidad de mejora. La selección por capacidad de succión parece una mejor opción que seleccionar por el carácter viabilidad perinatal que además de tener una heredabilidad baja (Vostrý

et al., 2015) no recoge el problema de los ganaderos de PM, que no tienen tanto problemas de mortalidad como de incremento del trabajo al tener que controlar a los terneros al nacimiento. Pese a no tener información cuantificada al respecto, la reducida capacidad de succión podría tener otros orígenes, como la dimensión y grosor de los pezones, características morfológicas sobre las que no se ha trabajado en el paso de adaptación de una raza lechera (y ordeñada a mano) a la producción exclusiva de terneros.

Finalmente, aparece la mejor valoración del ternero destetado por parte de los compradores de los terneros de la raza Limusina puros o cruzados. Estos compradores valoran la conformación de los animales como un indicador del rendimiento canal esperado (una de las variables que condiciona el precio del animal en matadero). Es difícil encontrar comparaciones fiables sobre la diferencia de rendimiento canal entre animales de raza PM y Limusina. En la Tabla 35 se presentan algunos resultados publicados donde aparecía la raza Limusina y algunas de las razas relacionadas con la PM.

En la comparación realizada por Alberti et al. (2008) los animales de raza Limusina superaban en 2,6 puntos el rendimiento canal de animales de raza Pirenaica, raza que en otros estudios ha obtenido rendimientos canal parecidos a la Bruna del Pirineus y ligeramente superiores a la PM.

Por tanto, podemos asumir que la diferencia del rendimiento canal entre PM y Limusina se encuentra entre los 3 y 5 puntos a favor de la Limusina. Esto puede representar aproximadamente 18 kg más de canal, siempre que el crecimiento en la fase de engorde sea el mismo. Aunque los parámetros que definen la calidad de la canal son caracteres con una heredabilidad media - Varona et al. (2012) en animales de la raza Pirenaica obtuvieron una heredabilidad de 0,34, 0,23 y 0,21 para el peso, la conformación y el estado de engrasamiento de la canal respectivamente - se debe estudiar cuidadosamente su inclusión en los objetivos de selección de la raza PM, ya que la selección a favor de conformación y rendimiento de la canal puede producir un aumento del peso adulto (McMorris y Wilton, 1986; Boligon et al., 2013; Caetano et al., 2013).

Tabla 35: Comparación entre razas del rendimiento canal, de la ganancia media diaria en engorde y del peso al sacrificio.

Raza	Número animales	Rendimiento canal (%)	GMD ¹	Peso sacrificio (kg)	Referencia
Parda de Montaña	12	59,7		470	Albertí et al. (2001)
	7	56,4	1,650	450	Blanco et al. (2008)
	8	57,1		496	Ripoll et al. (2014)
Bruna dels Pirineus	75	60,7	1,630	541	Sañudo et al. (2004)
Limusina	31	63,7	1,460	560	Albertí et al. (2008)
Pirenaica	55	60,5	1,650	551	Sañudo et al. (2004)
	31	61,1	1,370	602	Albertí et al. (2008)
	18	61,7		473	Albertí et al. (2001)
	7	58,3	1,660	450	Blanco et al. (2008)
	8	58,7		488	Ripoll et al. (2014)

¹GMD: Ganancia media diaria en kg durante la fase de engorde.

Arango y Van Vleck (2002) observaron que el tamaño de las vacas puede tener efectos biológicos y económicos sobre la eficiencia de producción. En este sentido, algunos autores encontraron que el aumento del peso adulto se relaciona negativamente con la productividad (Stewart y Martin, 1981; Marshall et al., 1984; López de Torre et al., 1992). El aumento del peso adulto está relacionado con el aumento de los costes de alimentación y de la recría (Jenkins y Ferrell, 1994). Kluyts et al. (2007) consideran en el agregado genotípico un peso económico negativo para el peso adulto de la vaca.

Los resultados del capítulo IV mostraron que las vacas de tipo III (tamaño grande) son las más productivas en kg destetados por año. En cambio las vacas de tipo I (tamaño pequeño) son las que tienen menos probabilidad de ser eliminadas. Podría ser más

rentable tener en la explotación vacas de mayor peso adulto (tipo III), que desteten más kg de ternero y que, pese a su peso adulto superior tienen unos costes de alimentación en el periodo de estabulación similares a los de una vaca más ligera (tipo I) en este sistema de producción. En este sentido y una vez más, no puede olvidarse, en las condiciones del Pirineo y otras montañas “secas”, la importancia de la época de partos en el mantenimiento de vacas de mayor tamaño; las vacas con partos de otoño son capaces de obtener mayores recuperaciones de peso durante el pastoreo y compatibilizar éstas con la subnutrición invernal, sin reducir los rendimientos (D’Hour et al., 1998; Casasús et al., 2002).

Por otro lado, las vacas con pesos adultos elevados pueden llegar a la cubrición con una tasa de madurez baja, y entonces durante su primer y segundo parto deben dividir la energía aportada entre seguir creciendo y la lactación del ternero (Marshall et al., 1984). Teniendo en cuenta que la nutrición post-parto es uno de los componentes que explica la duración del anestro postparto (Sanz et al., 2004), el balance energético negativo en vacas de peso adulto elevado y madurez baja en el primer parto podría explicar el aumento de los fallos reproductivos (aumento del intervalo entre partos), disminuyendo su productividad (terneros y kg de terneros destetados) y su longevidad en la explotación.

En todo caso, la repercusión de la modificación de la componente genética (por ejemplo por el incremento indirecto del peso adulto) sobre la productividad puede ser modulada con una mejora del manejo. En este sentido, la recría de las novillas es una fase en la que se debería dedicar más esfuerzo para mejorar la productividad y longevidad. Los sistemas de recría conjunta en los sistemas ganaderos de montaña pueden ser una medida para una mejor gestión de esta fase de la producción, y además puede servir para la dinamización de la asociación ARAPARDA. En este momento ya se han realizado a cabo dos tandas de recría conjunta de la asociación ARAPARDA en las instalaciones del CTA de Aragón en Movera (Casasús et al., 2015). Diversos autores plantean pautas de crecimiento mediante alimentación en fases para las novillas (Ford y Park, 2001; Grings et al., 2007; Rodríguez-Sánchez et al., 2015) para asegurar un peso y un desarrollo corporal aceptable en el momento de la cubrición. Con un sistema de recría conjunto se tiene un mayor control reproductivo, con una inseminación artificial con semen de toros con buena facilidad de parto, y se pueden optimizar los costes de alimentación.

La correcta gestión de la recría debería asegurar una correcta tasa de madurez a la primera cubrición. Las razas que en algún momento fueron seleccionadas a favor de su potencial lechero, como es el caso de la raza Parda de Montaña, alcanzan la pubertad a una edad más temprana que otras razas de similar peso adulto que no han sido seleccionadas por producción de leche (Cundiff et al., 1993). Según Freetly et al. (2011) la pubertad se alcanza al llegar al 55% del peso adulto. Endecott et al. (2013) defienden cubrir a las novillas como máximo al 65% de su peso adulto, Funston y Deutscher (2004) y Roberts et al. (2009) proponen reducir este porcentaje hasta el 50-57% con el fin de reducir los costes de la reposición y favorecer la obtención de un balance energético positivo cuando la calidad del alimento sea baja en el momento de la cubrición. Por otro lado, Day y Nogueira (2013) proponen una tasa de madurez mínima entre el 60 y 65% para partos a los 2 años de edad.

Los resultados obtenidos en este capítulo son contrarios a reducir la tasa de madurez a la primera cubrición. Aun estudiando tasas de madurez muy por encima de los mínimos propuestos, en el capítulo III se demostró que existe un efecto de la tasa de madurez en la primera cubrición sobre la productividad de las vacas. A mayor tasa de madurez, mayor productividad coincidiendo con Morrow et al. (1978), Stewart y Martin (1981), Humes y Munyakazi (1989) y López de Torre et al. (1992). Rodríguez-Sánchez et al. (2015) afirman que la llegada a la cubrición con una tasa de madurez baja puede dar lugar a un aumento de partos distócicos y problemas reproductivos.

Day y Nogueira (2013) defienden la disminución de la edad al primer parto como una estrategia de manejo que permite incrementar la rentabilidad del rebaño. Para poder reducir la edad al primer parto sin comprometer la productividad futura de las novillas es recomendable alcanzar un nivel mínimo de tasa de madurez en el momento de la cubrición. La disminución de la edad al primer parto por debajo de los dos años de vida puede incrementar el número de partos distócicos (Cortés-Lacruz et al., 2017) y el riesgo de que la vaca sea eliminada del rebaño (Rogers et al., 2004). Los resultados obtenidos en el capítulo III, demuestran que una reducción de 3 a 2,5 años, con tasas de madurez superiores al 75% no tendría consecuencias negativas a nivel de productividad o longevidad.

Basándonos en la información del libro genealógico de la raza PM, y analizando vacas nacidas a partir del 2010¹, el porcentaje de vacas con primer parto antes de 2,5 años es

¹ A partir de ese año el registro de nacimientos incluía un apartado de animales cruzados con lo que se aseguraba que todos los partos estaban registrados.

bajo (20,4%). Un 32,7% de las vacas tiene el primer parto en el intervalo estudiado en esta tesis (2,5 a 3 años) y en concreto la edad al primer parto más frecuente es a los 37 meses (Figura 16). Por tanto algunos ganaderos se podrían plantear una reducción a 2,5 años (siempre que se ajuste a su manejo reproductivo). En la base de datos se detectan un 46,8% de primeros partos por encima de los 3 años, lo que permite un amplio margen de mejora, aunque este valor podría ser inferior dado que el sistema de registro hasta el 2016 no se registraba los animales nacidos muertos en la base de datos.

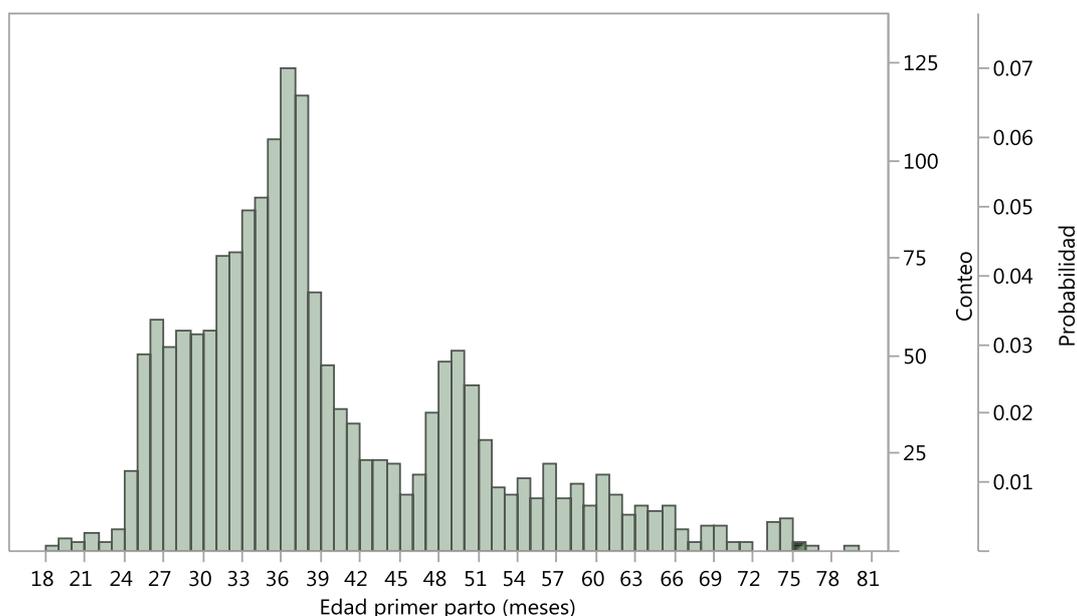


Figura 16: Distribución de edad al primer parto de las vacas de ARAPARDA nacidas a partir del 2010.

7.2 Actualización del programa de mejora de la raza Parda de Montaña

Actualmente en la base de datos de la asociación ARAPARDA incluye 130.803 animales, de los cuales un 27,4% con paternidad conocida. El porcentaje de animales con registro para el carácter peso al nacimiento, facilidad de parto y peso al destete es de 19,9%, 9,3% y 5,4% respectivamente. Como se ha comentado en los capítulos anteriores, la cantidad y calidad de registros fenotípicos aportados por los ganaderos es uno de los aspectos a mejorar en el programa de mejora de la raza PM. Algunos de los aspectos tratados anteriormente, como la recría conjunta, o la inclusión de caracteres relacionados con las inquietudes de los ganaderos, además de la promoción de toros probados por facilidad de parto, debería ser un incentivo para que los ganaderos se impliquen más en la toma de datos.

7.2.1 Propuestas de modelos de evaluación genética

La estimación de los valores genéticos se basa en la utilización de modelos que explican de la mejor forma posible el fenotipo observado. A lo largo de la tesis se han planteado algunas alternativas a los modelos actuales, ya sea en el apartado de efectos ambientales como en el de efectos genéticos. A continuación se resumen estos aspectos en el ámbito de los caracteres actuales (facilidad de parto y peso al destete) y de algunos otros que podrían ser incluidos en el programa de mejora.

7.2.1.1 Facilidad de parto

Como se recomienda en el primer capítulo, sería interesante la posibilidad de modificar el sistema de codificación del carácter para mejorar las futuras evaluaciones genéticas incluyendo los partos distócicos causados por una mala posición fetal. Aunque se deben seguir estándares internacionales como el ICAR para codificar la facilidad de parto sería aconsejable la búsqueda de sistemas de codificación prácticos y sencillos que faciliten la recogida de datos a los ganaderos.

Las correlación alta entre las estimas de la facilidad de parto procedentes del modelo normal y umbral indican que ambos son válidos para evaluar este carácter. Contrariamente, el modelo normal con efectos maternos proporciona estimas diferentes que el modelo sin efectos maternos, por lo que es necesario evaluar su uso en el programa de mejora de la raza Parda de Montaña.

7.2.1.2 Peso al destete

Los resultados obtenidos en el segundo capítulo muestran que se debería valorar la inclusión del efecto materno en los modelos de evaluación genética. Aunque la heredabilidad de los efectos genéticos es baja, la correlación genética negativa entre los efectos directos y maternos puede indicar un efecto antagónico de los genes relacionados con el crecimiento y los relacionados con la capacidad maternal (Lopes et al., 2013; Miller y Wilton, 1999).

Algunos efectos ambientales, como el sexo del ternero y el número de parto de la vaca, se deberían incluir en los modelos de evaluación genética del peso al destete para obtener unas estimaciones de los efectos directos de los caracteres más precisas. Para mejorar la precisión de las estimas de los efectos maternos se debería incluir en los modelos el efecto del nivel de energía de la ración y la condición corporal al parto.

La selección a favor del índice combinado de efectos directos y maternos del carácter peso al destete a los 150 días generó una respuesta económica superior a la generada por el peso a los 90 días. La componente genética de la producción de leche explica aproximadamente la mitad de la variación de los efectos maternos. La predicción de la producción de leche es más precisa si se utiliza el peso a los 90 días que si se utiliza el peso al destete a los 150 días, debido al menor efecto materno de este último.

La selección únicamente a favor del efecto directo del peso al destete que se está llevando a cabo en la actualidad puede originar una disminución de la capacidad maternal de las vacas (Miller y Wilton, 1999). Esta pérdida de capacidad maternal puede conllevar, entre otros factores, una pérdida de potencial lechero que, en algunas condiciones de manejo en las que el ternero depende exclusivamente del amamantamiento de su madre, podría ocasionar una disminución en el peso al destete cuando precisamente se está buscando lo contrario. En el modelo que se propone en el capítulo II se incorpora, como novedad al modelo usado actualmente en el programa de mejora, el efecto genético aditivo materno y el efecto ambiental permanente. Las heredabilidades de los efectos directo y materno para el peso al destete son de $0,15 \pm 0,01$ y $0,009 \pm 0,004$ respectivamente. La correlación obtenida entre el efecto directo y materno es de $-0,34 \pm 0,16$. El efecto ambiental permanente es $0,050 \pm 0,008$ y la repetibilidad de este carácter es de 0,21. Todos estos resultados son similares a los obtenidos por Quintanilla et al. (1999) en la raza Bruna dels Pirineus, con excepción de la heredabilidad del efecto materno, que en su caso fue de $0,10 \pm 0,03$.

En el segundo capítulo se muestran cuatro posibles hipótesis de selección para el carácter peso al destete. La selección a favor del efecto directo a los 90 días es la opción que menos beneficios aportaría por unidad de carácter aumentada. Esta opción penaliza la capacidad maternal y la producción lechera con unos crecimientos normales. La selección a favor de un índice conjunto de los valores genéticos directos y maternos del peso a los 90 días es la tercera opción que más beneficios aportaría al mejorar el carácter. En este sentido Sise et al. (2013) y Kluys et al. (2007), coinciden en que los efectos directo y materno del peso al destete tienen un peso económico positivo. En condiciones de uso de recursos de baja calidad nutritiva (pastoreo de zonas boscosas por ejemplo), puede ser favorable un tipo genético con elevado potencial de producción de leche, ya que el crecimiento del ternero, al no poder aprovechar dicho recurso, depende de la producción de leche de la vaca. Pero en condiciones de disponibilidad de recursos de calidad o de suplementación directa al ternero, el crecimiento del ternero depende

más de su potencial de crecimiento por lo que disminuye la importancia de la producción de leche materna.

La selección a favor del efecto directo del peso al destete a los 150 días es la segunda opción que más beneficios aportaría por unidad de carácter aumentada. En condiciones normales de alimentación se esperaría una mejora el crecimiento, aunque en condiciones extremas, con pocos recursos alimenticios, el crecimiento de los terneros podría verse penalizado. La correlación genética positiva entre peso al destete y peso adulto (Meyer, 1995) implicaría un aumento indirecto del peso adulto al seleccionar por el efecto directo del peso al destete.

Por último, la selección a favor de un índice conjunto de los valores genéticos directos y maternos del peso al destete a los 150 días aportaría más beneficios que la selección a favor del peso a los 90 días incluyendo o no efectos maternos. Sin penalizar la producción de leche ni la capacidad maternal de las vacas, el potencial de crecimiento de los terneros sería aceptable.

7.2.2 Nuevos caracteres

7.2.2.1 Capacidad de succión

Como ya se ha comentado anteriormente, la capacidad de succión del ternero podría incluirse como un carácter discreto, en principio de fácil registro por parte del ganadero, y con una heredabilidad media. Antes de iniciar esta inclusión, debería poderse objetivar la existencia de este problema en la raza PM y, de existir, disociarlo de la morfología mamaria y del comportamiento materno.

7.2.2.2 Calidad de la canal

En la base de datos del SIMOGAN (Sistema Nacional de Identificación y Registro de los Movimientos de los Bovinos), están registradas todas las explotaciones (incluidos mataderos) con todos los animales y sus movimientos. Algunos programas de mejora ya han aprovechado dicha información para obtener registros de los caracteres de peso al sacrificio, peso de la canal, conformación y estado de engrasamiento (Altarriba et al., 2007). La decisión de la inclusión de estos caracteres, y sobre todo el peso económico que se les asigna, debería ser una de las líneas de trabajo dentro del programa de mejora, combinando la información procedente de las explotaciones más representativas y los modelos de simulación desarrollados en el marco de los sistemas de producción en los que se produce la vaca PM (Villalba et al., 2006)

7.2.2.3 Intervalo entre partos

El tiempo entre parto y cubrición fértil es un parámetro que condiciona el rendimiento reproductivo y que se incluye en algunos agregados genotípicos (Kluyts et al., 2007). En el caso de ARAPARDA, el carácter que recoge en parte esta información es el intervalo entre partos (IP). En la Figura 17 se presenta la distribución de IP en las vacas con primer parto registrado en ARAPARDA a partir del 2010. El margen de mejora es amplio y por ello el IP individual está siendo utilizado como uno de los criterios para la selección de las madres de los terneros que se incluyen en el testaje de ARAPARDA. Pero es bien sabido que la heredabilidad del IP es baja (Royal et al., 2002) por lo que este sería un carácter en el que se podría utilizar la herramienta de la selección genómica para una mejora más eficiente. No puede olvidarse, sin embargo, que el intervalo entre partos está directamente relacionado con prácticas de manejo alimenticio de la vaca y del ternero, no siempre seguidas a nivel de explotación (Sanz et al., 2004).

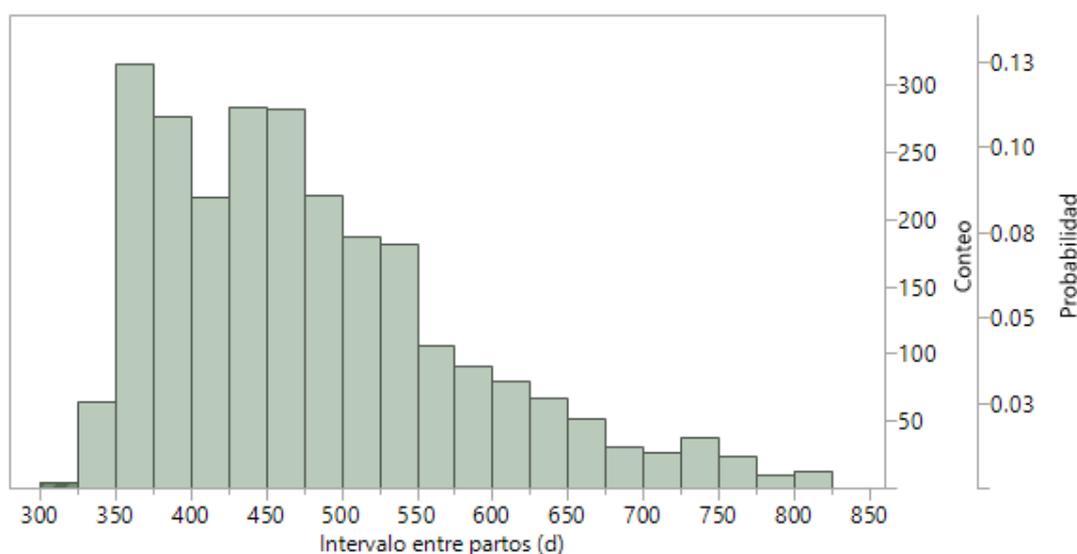


Figura 17: Distribución del intervalo entre partos de las vacas de ARAPARDA nacidas a partir del 2010.

7.2.2.4 Longevidad.

La longevidad es una variable continua que se puede definir como el período de tiempo durante el cual una vaca permanece en el rebaño. En cambio, la supervivencia es una variable categórica que se define como la probabilidad de un animal de seguir en el rebaño durante un período de tiempo concreto (Jamrozik et al., 2013). En los capítulos III y IV se observó que los efectos tasa de madurez, época de nacimiento y su manejo (no ligado al fotoperíodo) y el tipo genético pueden afectar a la longevidad y a la productividad de las vacas. Las vacas que son capaces de permanecer y producir más

tiempo en el rebaño afectan a la productividad de las explotaciones de vacuno de carne a través de una disminución de los costes de mantenimiento, de una menor dificultad de parto y de una mayor producción de kg de ternero al destete (Garrick, 2006).

7.2.2.5 *Peso Adulto.*

Como recomendación, sería interesante incluir en los modelos de evaluación genética el efecto tasa de madurez a la primera cubrición para desenmascarar su relación con el peso adulto y el manejo de las explotaciones. Si fuera posible estimar el peso a diferentes edades con precisión, entre ellos el peso al nacimiento, al destete, a la cubrición, al primer parto, y a edad adulta, se podrían clasificar a las vacas según la tasa de madurez a la cubrición e incluir este efecto en los modelos.

Debido a la complejidad para pesar a los animales en las explotaciones de vacuno de carne, se podrían utilizar diferentes medidas zoométricas como la altura de la cadera como estimador del peso vivo de los animales (Freetly et al., 2011). Yokoo et al. (2007) encontraron una correlación positiva de 0,68 y 0,59 entre la altura de la cadera y el peso vivo a distintas edades entre los 120 y los 550 días de edad, en el mismo sentido Freetly et al. (2011) observaron que a mayor altura de la cadera mayor peso vivo. Por otro lado, Jenkins et al. (1991) definieron la altura de la cadera en vacas adultas en las razas Angus y Hereford. Estas medidas se puede podrían tomar fácilmente de forma manual o incluso con la utilización de sistemas automáticos con cámaras (Tasdemir et al., 2011) instalados en las mangas de manejo, aprovechando el saneamiento por ejemplo o cualquier otra circunstancia por la cual sea necesario pasar los animales por la manga de manejo.

7.2.2.6 *Abertura pélvica.*

Si fuera posible disponer de registros fenotípicos de este carácter de una manera sencilla, se podría estudiar su inclusión en los modelos de evaluación genética con el fin de reducir los partos distócicos. A pesar de que la selección a favor de la abertura pélvica reduce los partos distócicos (Naazie et al., 1990; Renand et al., 2010), Cook et al. (1993) recomiendan, en el caso de tener una población homogénea, seleccionar en contra del peso al nacimiento para reducir los partos distócicos de una forma más eficiente. La abertura pélvica es uno de los caracteres evaluados en las estaciones de testaje de Charolais, siendo la heredabilidad de este carácter de $0,34 \pm 0,02$ (Guerrier et al., 2012), en la Figura 18 se detalla el método de obtención de la abertura pélvica.

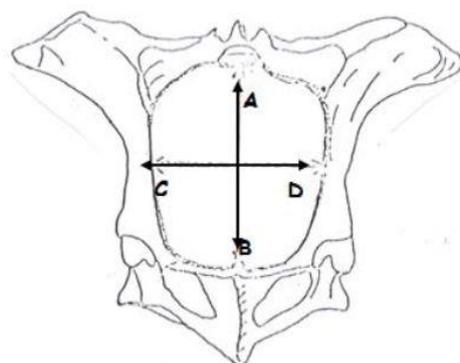


Figura 18: Vista craneal de la abertura pélvica: producto de la altura sacro-púbica (A-B) y de la anchura entre ilios (C-D). Guerrier et al. (2012).

7.2.3 *Uso de nuevas herramientas de selección*

La selección de los mejores animales en vacuno de carne se realiza a partir de su valor genético basado en el registro fenotípico conjuntamente con la información de su pedigrí mediante el método estadístico BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*) (Henderson, 1984). En la actualidad se disponen de información basada en la detección de mutaciones en los genes causales o de marcadores ligados que permiten una selección asistida por genes o marcadores.

7.2.3.1 *Genes mayores*

Las mutaciones en genes causales responsables de un elevado porcentaje de la variabilidad fenotípica o genes mayores se han introducido en el programa de mejora de la raza Parda de Montaña gracias al proyecto “*Estudio de los genes relacionados con la ternera de la carne de Parda de Montaña: aplicación al Programa de Mejora Genética*” realizado por el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) y de la Agencia Aragonesa para la Investigación y el Desarrollo (ARAIID), que han trabajado en colaboración con el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) y a petición de las asociaciones de productores de parda de montaña (ARAPARDA) y de bovinos de raza pirenaica (ASAPI). En este Proyecto se pretende incorporar en el esquema de mejora los genes o marcadores moleculares asociados con la ternera de la carne.

Algunos de los genes asociados a la ternera de la carne son la calpaína, responsable de la rotura de las proteínas miofibrilares del músculo en la etapa post-mortem y la calpastatina que inhibe la actividad de la calpaína. El incremento postmortem de la actividad de la calpastatina ha sido relacionada con una disminución de la ternera de la carne (Chung y Davis, 2012). En este contexto Calvo et al. (2014) aislaron un SNPs del

gen de la calpastatina (P201231520) asociado con la terneza de la carne en la raza Parda de Montaña y cuyas entidades titulares son: CITA, ARAID, INIA, ARAPARDA, ASAPI.

Otra información genómica complementaria y de gran utilidad para los ganaderos es el gen de la hipertrofia muscular bovina (gen culón). En el gen de la miostatina (factor de crecimiento que influye en la embriogénesis y posterior desarrollo) existe una mutación de un solo nucleótido que afecta a la conformación. Los animales homocigotos para esa mutación tienen una elevada musculación en el tercio posterior que puede provocar problemas en caracteres reproductivos-maternales. Por otro lado, esta elevada musculación puede dar un valor añadido a la canal. Por lo tanto, si se dispone de esta información cada ganadero puede tomar decisiones sobre la selección de sus animales en función de sus intereses.

7.2.3.2 Selección genómica

En la actualidad, la disponibilidad de los marcadores densos de SNP (Single nucleotide polymorphism) ha abierto nuevas posibilidades en las evaluaciones genéticas de individuos. Este genotipado de marcadores a lo largo de todo el genoma permite estimar los valores genéticos de los animales con una elevada precisión (Meuwissen et al., 2001) para poder realizar una selección dirigida. En vacuno lechero los programas de mejora genética basados en la selección genómica podrían duplicar el progreso genético de los programas convencionales reduciendo el coste hasta un 92% (Schaeffer, 2006). Pese a que se está trabajando para aplicar la selección genómica en vacuno de carne en muchos casos existen limitaciones. Según Garrick (2009) por el número reducido de animales con valores genéticos precisos y el uso limitado de la inseminación artificial entre otros, que hacen que no sea posible la aplicación de esta nueva técnica. Justamente el vacuno de carne, y concretamente la raza Parda de Montaña adolecen de ambos problemas.

Como se ha visto anteriormente, la aplicación de la selección genómica produce un incremento de la precisión en la estimación de los valores genéticos de los animales, en el caso de caracteres con una baja heredabilidad este incremento de precisión será superior en comparación con caracteres más heredables (Mouresan et al., 2017).

Para poder incorporar la selección genómica de una forma eficiente en el programa de mejora de la raza Parda de Montaña sería necesario la creación de “núcleos de selección”. Estos núcleos serían las explotaciones con mayor implicación en el

programa, en las cuales se podría tener un mayor control sobre los animales y sobre la recogida de la información de interés. En estas explotaciones aumentaría la cantidad y la calidad de los registros fenotípicos, lo cual permitiría el estudio de los nuevos caracteres citados anteriormente y la mejora de la precisión de las estimas de los valores genéticos de los caracteres actualmente utilizados en las evaluaciones genéticas.

En el caso del carácter facilidad de parto, los núcleos de selección permitirían obtener toros probados con elevados valores genéticos y de gran fiabilidad. Posteriormente con la cesión de estos animales a otras explotaciones o mediante el uso de la inseminación artificial en los casos que fuera posible se podría difundir esta mejora genética de una forma rápida y eficiente al resto de la población.

La aplicación de la selección genómica sería especialmente útil en las evaluaciones de caracteres de baja heredabilidad (intervalo entre partos), como se ha visto anteriormente (Mouresan et al., 2017) y en caracteres que no se pueden medir mientras el animal permanece en el rebaño (longevidad, calidad de la carne y de la canal) (Lee et al., 2015; Nayeri et al., 2017). Otra ventaja de las evaluaciones genómicas es la matriz de parentesco genómica; esta matriz combina la información del pedigrí con la información genómica. Las evaluaciones genómicas gracias al uso de la matriz de parentesco genómico permiten minimizar el problema de la paternidad desconocida, mejorando la precisión de las evaluaciones genéticas (Misztal et al., 2013).

7.3 Referencias bibliográficas

Albertí, P., Panea, B., Sañudo, C., Olleta, J.L., Ripoll, G., Ertbjerg, P., Christensen, M., Gigli, S., Failla, S., Concetti, S., Hocquette, J.F., Jailler, R., Rudel, S., Renand, G., Nute, G.R., Richardson, R.I., Williams, J.L., 2008. Live weight, body size and carcass characteristics of young bulls of fifteen European breeds. *Livest. Sci.* 114, 19–30.

Albertí, P., Sañudo, C., Olleta, J.L., Panea, B., Lahoz, F., 2001. Efecto del peso de sacrificio en el rendimiento cárnico de terneros de siete razas bovinas españolas. *ITEA Producción Animal. Vol. extra*, 22, 511–513.

Altarriba, J., Yagüe, G., Moreno, C., Varona, L., 2007. SIMOGAN y mejora genética. *XII Jornadas Producción Animal. 2*, 507–509.

Arango, J., Van Vleck, L.D., 2002. Size of beef cows: early ideas, new developments. *Genetics and Molecular Research*, 1 (1), pp. 51-63.

Blanco, M., Villalba, D., Ripoll, G., Sauerwein, H., Casasús, I., 2008. 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. *Anim. Int. J. Anim. Biosci.* 2, 779–789.

Boligon, A.A., Carneiro, R., Albuquerque, L.G., 2013. Evaluation of mature cow weight: Genetic correlations with traits used in selection indices, correlated responses, and genetic trends in Nelore cattle. *J. Anim. Sci.* 91, 20–28.

Caetano, S.L., Rosa, G.J.M., Savegnago, R.P., Ramos, S.B., Bezerra, L. a. F., Lôbo, R.B., de Paz, C.C.P., Munari, D.P., 2013. Characterization of the variable cow's age at last calving as a measurement of longevity by using the Kaplan–Meier estimator and the Cox model. *animal* 7, 540–546.

Calvo, J.H., Iguacel, L.P., Kirinus, J.K., Serrano, M., Ripoll, G., Casasús, I., Joy, M., Perez-Velasco, L., Sarto, P., Alberti, P., Blanco, M., 2014. A new single nucleotide polymorphism in the calpastatin (CAST) gene associated with beef tenderness. *Meat Sci.* 96, 775–782.

Casasús, I., Sanz, A., Blanco, M., Villalba, D., Collantes, E., Quintín, F.J., Hernández, M., Banzo, P., Macarulla, J.M., 2015. Estrategias para la mejora de la eficiencia técnica en los rebaños de vacas nodrizas de raza parda de montaña, Libro de Actas XI Congreso de la Federación Iberoamericana de Razas Criollas y Autóctonas: Zaragoza, 19 al 21 de marzo de 2015. FEAGAS.

Chung, H., Davis, M., 2012. Effects of genetic variants for the calpastatin gene on calpastatin activity and meat tenderness in Hanwoo (Korean cattle). *Meat Sci.* 90, 711–714.

Cook, B.R., Tess, M.W., Kress, D.D., 1993. Effects of selection strategies using heifer pelvic area and sire birth weight expected progeny difference on dystocia in first-calf heifers. *J. Anim. Sci.* 71, 602–607.

Cortés-Lacruz, X., Revilla, R., Casasús, I., Sanz, A., Ferrer, J., Banzo, P., Villalba, D., 2017. Evaluación genética de la facilidad de parto en la raza bovina Parda de Montaña usando los modelos lineal y umbral. ITEA-Información Técnica Económica Agraria, ITEA, 113 (En prensa)

Cundiff, L.V., Szabo, F., Gregory, K.E., Koch, R.M., Dikerman, J.D., 1993. Breed comparisons in the germplasm evaluation program at MARC. *Proc Beef Imp Fed Asheville NC* 124–136.

- Day, M.L., Nogueira, G.P.,** 2013. Management of age at puberty in beef heifers to optimize efficiency of beef production. *Anim. Front.* 3, 6–11.
- Endecott, R.L., Funston, R.N., Mulliniks, J.T., Roberts, A.J.,** 2013. Joint Alpharma-Beef Species Symposium: Implications of beef heifer development systems and lifetime productivity. *J. Anim. Sci.* 91, 1329–1335.
- Ford, J.A., Park, C.S.,** 2001. Nutritionally directed compensatory growth enhances heifer development and lactation potential. *J. Dairy Sci.* 84, 1669–1678.
- Freetly, H.C., Kuehn, L.A., Cundiff, L.V.,** 2011. Growth curves of crossbred cows sired by Hereford, Angus, Belgian Blue, Brahman, Boran, and Tuli bulls, and the fraction of mature body weight and height at puberty. *J. Anim. Sci.* 89, 2373–2379.
- Funston, R.N., Deutscher, G.H.,** 2004. Comparison of target breeding weight and breeding date for replacement beef heifers and effects on subsequent reproduction and calf performance. *J. Anim. Sci.* 82, 3094–3099.
- Garrick, D.,** 2006. Evaluation, interpretation and relevance of stayability in beef cattle genetic improvement. *J Anim Sci* 84, 87–95.
- Garrick, D.J.,** 2009. The nature and scope of some whole genome analyses in US beef cattle. Proceedings of the Beef Improvement Federation 41st Annual Research Symposium: 30 April–3May 2009; Sacramento. pp. 92–102.
- Grings, E.E., Geary, T.W., Short, R.E., MacNeil, M.D.,** 2007. Beef heifer development within three calving systems. *J. Anim. Sci.* 85, 2048–2058.
- Guerrier, J., Fouilloux, M.N., Brunet, J.L., Delpeuch, A., Havy, A., Venot, E.,** 2012. Ouverture Pelvienne : des paramètres génétiques aux index de sélection en station. *Rencontre Rech. Sur Rumin.* 19, 85–88.
- Henderson, C.R.,** 1984. Applications of Linear Models in Animal Breeding. University of Guelph.
- Humes, P.E., Munyakazi, L.,** 1989. Size and production relationships in crossbred beef cattle. *La. Agric.* 33, 12–13.
- Jamrozik, J., McGrath, S., Kemp, R.A., Miller, S.P.,** 2013. Estimates of genetic parameters for stayability to consecutive calvings of Canadian Simmentals by random regression models. *J. Anim. Sci.* 91, 3634–3643.
- Jenkins, T.G., Ferrell, C.L.,** 1994. Productivity through weaning of nine breeds of cattle under varying feed availabilities: I. Initial evaluation. *J. Anim. Sci.* 72, 2787–2797.

- Jenkins, T.G., Kaps, M., Cundiff, L.V., Ferrell, C.L.**, 1991. Evaluation of between- and within-breed variation in measures of weight-age relationships. *J. Anim. Sci.* 69, 3118–3128.
- Kluyts, J.F., Naser, F.W., Bradfield, M.J.**, 2007. Proposed economic selection indices for the Simmentaler breed in South Africa. *South Afr. J. Anim. Sci.* 37, 122–131.
- Lee, M.A., Cullen, N.G., Newman, S. a. N., Dodds, K.G., McEwan, J.C., Shackell, G.H.**, 2015. Genetic analysis and genomic selection of stayability and productive life in New Zealand ewes. *J. Anim. Sci.* 93, 3268–3277.
- Lopes, F.B., Magnabosco, C.U., Paulini, F., da Silva, M.C., Miyagi, E.S., Lôbo, R.B.**, 2013. Genetic Analysis of Growth Traits in Polled Nellore Cattle Raised on Pasture in Tropical Region Using Bayesian Approaches. *PLoS ONE* 8, e75423.
- López de Torre, G., Candotti, J., Reverter, A., Bellido, M., Vasco, P., Garcia, L., Brinks, J.**, 1992. Effects of Growth Curve Parameters on Cow Efficiency. *J. Anim. Sci.* 70, 2668–2672.
- Maltecca, C., Rossoni, A., Nicoletti, C., Santus, E.**, 2007. Estimation of Genetic Parameters for Perinatal Sucking Behavior of Italian Brown Swiss Calves. *J. Dairy Sci.* Champaign 90, 4814–4820.
- Marshall, T.E., Mohler, M.A., Stewart, T.S.**, 1984. Relationship of lifetime productivity with mature weight and maturation rate in Red Poll cows. *Anim. Sci.* 39, 383–387.
- McMorris, M.R., Wilton, J.W.**, 1986. Breeding system, cow weight and milk yield effects on various biological variables in beef production. *J. Anim. Sci.* 63, 1361–1372.
- Meuwissen, T.H., Hayes, B.J., Goddard, M.E.**, 2001. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics* 157, 1819–1829.
- Meyer, K.**, 1995. Estimates of genetic parameters for mature weight of Australian beef cows and its relationship to early growth and skeletal measures. *Livest. Prod. Sci.* 44, 125–137.
- Miller, S.P., Wilton, J.W.**, 1999. Genetic relationships among direct and maternal components of milk yield and maternal weaning gain in a multibreed beef herd. *J. Anim. Sci.* 77, 1155–1161.
- Misztal, I., Vitezica, Z.G., Legarra, A., Aguilar, I., Swan, A.A.**, 2013. Unknown-parent groups in single-step genomic evaluation. *J. Anim. Breed. Genet.* 130, 252–258.
- Morrow, R.E., McLaren, J.B., Butts, W.T.**, 1978. Effect of Age on Estimates of Bovine Growth-curve Parameters. *J. Anim. Sci.* 47, 352–357.

- Mouresan, E.-F., Altarriba, J., Moreno, C., Munilla, S., González-Rodríguez, A., Varona, L.,** 2017. Performance of genomic selection under a single-step approach in autochthonous Spanish beef cattle populations. *J. Anim. Breed. Genet. Z. Tierzucht Zuchtungsbiologie*. (En prensa)
- Naazie, A., Makarechian, M.M., Berg, R.T.,** 1990. Factors influencing calving difficulty in beef heifers. *J. Anim. Sci.* 67, 3243–9.
- Nayeri, S., Sargolzaei, M., Abo-Ismael, M.K., Miller, S., Schenkel, F., Moore, S.S., Stothard, P.,** 2017. Genome-wide association study for lactation persistency, female fertility, longevity, and lifetime profit index traits in Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 100, 1246–1258.
- Quintanilla, R., Varona, L., Pujol, M.R., Piedrafita, J.,** 1999. Maternal animal model with correlation between maternal environmental effects of related dams. *J. Anim. Sci.* 77, 2904–2917.
- Renand, G., Vinet, A., Krauss, D., Saintilan, R.,** 2010. Relation entre l'ouverture pelvienne et l'aptitude génétique au vêlage en race bovine Charolaise. *Rencontre Rech. Sur Rumin.* 17, 451–454.
- Ripoll, G., Blanco, M., Albertí, P., Panea, B., Joy, M., Casasús, I.,** 2014. Effect of two Spanish breeds and diet on beef quality including consumer preferences. *J. Sci. Food Agric.* 94, 983–992.
- Roberts, A.J., Geary, T.W., Grings, E.E., Waterman, R.C., MacNeil, M.D.,** 2009. Reproductive performance of heifers offered ad libitum or restricted access to feed for a one hundred forty-day period after weaning. *J. Anim. Sci.* 87, 3043–3052.
- Rodríguez-Sánchez, J.A., Sanz, A., Tamanini, C., Casasús, I.,** 2015. Metabolic, endocrine, and reproductive responses of beef heifers submitted to different growth strategies during the lactation and rearing periods. *J. Anim. Sci.* 93, 3871–3885.
- Rogers, P.L., Gaskins, C.T., Johnson, K.A., MacNeil, M.D.,** 2004. Evaluating longevity of composite beef females using survival analysis techniques. *J. Anim. Sci.* 82, 860–866.
- Royal, M.D., Pryce, J.E., Woolliams, J.A., Flint, A.P.F.,** 2002. The genetic relationship between commencement of luteal activity and calving interval, body condition score, production, and linear type traits in Holstein-Friesian dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 85, 3071–3080.

- Sañudo, C., Macie, E.S., Olleta, J.L., Villarroel, M., Panea, B., Alberti, P.,** 2004. The effects of slaughter weight, breed type and ageing time on beef meat quality using two different texture devices. *Meat Sci.* 66, 925–932.
- 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. *Livest. Prod. Sci.* 86, 179–191.
- Schaeffer, L.R.,** 2006. Strategy for applying genome-wide selection in dairy cattle. *J. Anim. Breed. Genet. Z. Tierzucht Zuchtungsbiologie* 123, 218–223.
- Sise, J.A., Byrne, T.J., Young, M.J., Amer, P.R.,** 2013. Economic impact of changes to the breeding objectives used within the New Zealand beef breeding industry. *Proceedings of the Twentieth Conference of the Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics, Translating Science into Action, Napier, New Zealand, 20th-23rd October 2013.* Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics, pp. 487–490.
- Stewart, T.S., Martin, T.G.,** 1981. Mature weight, maturation rate, maternal performance and their interrelationships in purebred and crossbred cows of angus and milking shorthorn parentage. *J. Anim. Sci.* 52, 51–56.
- Tasdemir, S., Urkmez, A., Inal, S.,** 2011. Determination of body measurements on the Holstein cows using digital image analysis and estimation of live weight with regression analysis. *Comput. Electron. Agric.* 76, 189–197.
- Varona, L., Moreno, C., Altarriba, J.,** 2012. Genetic correlation of longevity with growth, post-mortem, docility and some morphological traits in the Pirenaica beef cattle breed. *animal* 6, 873–879.
- Villalba, D., Casasus, I., Sanz, A., Bernues, A., Estany, J., Revilla, R.,** 2006. Stochastic simulation of mountain beef cattle systems. *Agric. Syst.* 89, 414–434.
- Vostry, L., Milerski, M., Krupa, E., Vesela, Z., Vostra-Vydrova, H.,** 2015. Genetic relationships among calving ease, birth weight and perinatal calf survival in Charolais cattle. *Anim. Sci. Pap. Rep.* 33, 233–242.
- Yokoo, M.J.I., Albuquerque, L.G. de, Lôbo, R.B., Sainz, R.D., Júnior, C., Marques, J., Bezerra, L.A.F., Araujo, F.R. da C.,** 2007. Estimation of genetic parameters for hip height, weight and scrotal circumference in Nelore cattle. *Rev. Bras. Zootec.* 36, 1761–1768

8 CONCLUSIONES

1. Aunque el carácter facilidad de parto se puede evaluar mediante un modelo umbral dada su distribución discreta, el modelo normal y el umbral son equivalentes.
2. Los partos distócicos originados por una mala posición del ternero pueden explicar una parte importante del carácter facilidad de parto, por lo que se debería registrar esta característica en la evaluación genética.
3. Las vacas que paren por primera vez antes de los dos años tienen una mayor proporción de partos con asistencia y un elevado porcentaje de partos requieren asistencia técnica.
4. Para mejorar la precisión de las estimas de los efectos maternos se deberían incluir en los modelos el efecto del nivel de energía de la ración y la condición corporal al parto.
5. La heredabilidad de los efectos genéticos maternos es baja, pero la correlación entre estos y los efectos directos es negativa (-0,13 y -0,34 para el peso a los 90 días y a los 150 días, respectivamente).
6. La componente genética de la producción de leche explica aproximadamente el 50% de la variación de los efectos maternos. La predicción de la producción de leche es más precisa si se utiliza el peso a los 90 días que si se utiliza el peso al destete a los 150 días, debido al menor efecto materno de este último.
7. La selección a favor del índice combinado de efectos directos y maternos del carácter peso al destete a los 150 días generó la mayor respuesta económica esperada, incrementando el valor genético directo sin reducir el valor genético materno.
8. Una tasa de madurez baja en la primera cubrición tiene un efecto negativo sobre la producción de terneros y de kg destetados, la edad a la baja y el intervalo entre partos.
9. Mantener unas pautas adecuadas de manejo alimenticio durante la recría para asegurar que lleguen al primer parto con una tasa de madurez adecuada, se traduce en una mayor productividad y longevidad.
10. Reducir la edad al primer parto de tres a dos años y medio no supone ninguna pérdida de productividad, siempre y cuando las novillas lleguen con una tasa de madurez adecuada.

11. El análisis de conglomerados definió tres tipos genéticos: El *tipo I* con vacas de tamaño pequeño, un buen efecto materno y poca producción de leche. El *tipo II* vacas medias respecto al peso adulto, un alto efecto materno y una elevada producción de leche. Las vacas del *tipo III* vacas de tamaño grande, con más problemas de partos, poco efecto materno y una producción de leche media.

12. Sería interesante valorar la posibilidad de trabajar con vacas de mayor peso adulto (tipo III) que desteten más kg de ternero y que, pese a su peso adulto superior tengan unos costes de alimentación en el periodo de estabulación similares a los de una vaca más ligera (tipo I, siempre y cuando la capacidad de recuperación de peso durante la estación de pastoreo no sea limitante).