

M.A. Pérez-Cabal, C. García, O. González-Recio, R. Alenda

**ESTUDIO DE LA RELACIÓN ENTRE MIEMBROS Y APLOMOS
Y LOS CARACTERES PRODUCTIVOS EN VACUNO LECHERO**

Separata ITEA

INFORMACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA AGRARIA, VOL. **101** N.º 2 (101-116), 2005

Estudio de la relación entre miembros y aplomos y los caracteres productivos en vacuno lechero

M.A. Pérez-Cabal, C. García, O. González-Recio, R. Alenda

Departamento de Producción Animal, E.T.S.I. Agrónomos - Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid
E-mail: ma.perezcabal@upm.es

Resumen

Se ha analizado el sistema de calificación morfológica de los miembros y aplomos, así como sus relaciones fenotípicas y genéticas con la rentabilidad y diversos parámetros productivos. El estudio se ha basado en 62.293 vacas con datos de control lechero, calificación morfológica, control reproductivo y genealogía, de la población frisona de las Comunidades Autónomas del País Vasco y Navarra.

Se obtuvieron diferencias significativas entre los valores medios fenotípicos de rentabilidad corregidos por mínimos cuadrados, producciones y caracteres de longevidad, en función de la calificación de miembros y aplomos. Las vacas mejor calificadas para este carácter tuvieron significativamente mayor rentabilidad (178 € más por vaca y año), produjeron 573 Kg de leche más en primera lactación, permanecieron 307 días más en el rebaño y tuvieron 0,8 lactaciones más, respecto a las peor calificadas. En cambio, para los parámetros de fertilidad no se observó un efecto significativo de la calificación morfológica de las patas.

Sin embargo, los resultados genéticos no justificaron el interés del sector por este carácter. Se obtuvo una heredabilidad baja para los miembros y aplomos (0,14) y las correlaciones genéticas obtenidas con la rentabilidad, la producción, la longevidad y los parámetros de fertilidad, fueron bajas, siendo los valores más altos para el intervalo entre partos (0,12) y la rentabilidad (0,10). Se encontraron relaciones cuadráticas significativas entre los valores genéticos de miembros y aplomos y los de rentabilidad, longevidad funcional, producción total de leche y kilogramos de leche producidos en primera lactación estandarizados a 305 días, aunque los coeficientes de determinación no mejoraron sustancialmente los respectivos modelos lineales. No se encontraron diferencias genéticas, en cuanto a rentabilidad, entre los animales mejor calificados y el resto que expliquen los mejores rendimientos económicos.

Palabras clave: Rentabilidad, locomoción

Summary

Study of relationships between feet and legs and productive traits in dairy cattle

Morphological classification system, phenotypic and genetic relationships between feet and legs, profit and productive traits were studied. Data of 62,293 cows obtained from milking recording system, type classification, and reproductive recording system of dairy cattle from Navarre and Basque autonomous regions of Spain was used.

Significant differences for least square means of profit, production, and longevity were found among feet and legs classes. Best scored cows were 178 € per year more profitable, produced 573 kg. more of milk in first lactation, remained 307 days more in herd, and had 0.8 lactations more than the worst scored animals. However, feet and legs did not have effect on fertility.

Genetic results did not explain the concern of breeders in this trait. Heritability of feet and legs was low (0.14) and also were genetic correlation to profit, milk production, longevity and fertility. Highest

values were found for calving interval (0.12) and profit (0.10). Although coefficients of determination did not substantially improve the correspondent models, significant quadratic relationships were obtained between breeding values of feet and legs and profit, milk production, and functional longevity. However, no genetic differences for profit were found among best scored cows and the rest of animals that explain the best economic performance.

Key words: Profit, locomotion

Introducción

El sector ganadero da importancia a los caracteres relacionados con la locomoción, ya que es la base para sustentar al animal. Si un animal tiene problemas de apoyos le será más difícil moverse, alcanzar el comedero y desplazarse para el ordeño, por lo que será eliminado del rebaño. Esta importancia puede reflejarse en la influencia de los valores genéticos de los caracteres de locomoción, tanto sobre el precio de las dosis de semen, como sobre la demanda de los sementales con buenas valoraciones genéticas en miembros y aplomos.

De hecho, los problemas de locomoción, manifestados como cojeras, suponen el 15% del desecho involuntario de animales en Estados Unidos (National Animal Health Service, 1996). Las características físicas de las patas de una vaca pueden contribuir al desgaste de pezuñas y, por consiguiente, a la aparición de cojeras (Boelling y Pollot, 1998). Las cojeras son un problema importante en el ganado vacuno lechero, tanto por las consideraciones económicas como por las de bienestar animal (Warnick et al., 2001). Las pérdidas económicas se pueden diferenciar en directas e indirectas (Boettcher et al., 1998). Las directas son debidas al coste y al tiempo empleado en tratamientos y prevención, además del desecho involuntario de aquellas vacas que tienen cojera crónica. Las pérdidas indirectas se deben al detrimento de producción de leche y empeoramiento de la fertilidad. La media de las pérdidas por vaca, debido a problemas de locomoción,

excedió las 45 £ por vaca y año en el Reino Unido (Kossaibati et al., 1999; Sattler, 2002).

Sin embargo, los caracteres de locomoción presentan heredabilidades bajas y, aunque están correlacionados genéticamente de forma positiva con la rentabilidad (Pérez-Cabal y Alenda, 2002) debido a su relación con la longevidad (Vollema y Groen, 1997; Pérez-Cabal, 2002), estas correlaciones son bajas. Además, tradicionalmente se ha supuesto que la relación de estos caracteres con la rentabilidad es lineal, pero varios trabajos de investigación demuestran que existen relaciones cuadráticas entre los caracteres de tipo, la rentabilidad y la longevidad a nivel fenotípico (Norman et al., 1996) y entre los valores genéticos (Pérez-Cabal y Alenda, 2002).

Estas discrepancias podrían ser debidas a que el análisis de la calificación morfológica no se estuviera realizando correctamente o a que las vacas mejor calificadas se comportaran de forma distinta por un tratamiento preferencial por parte de los ganaderos. Por ello, y dada la importancia que el sector concede a los caracteres de locomoción en la selección de los animales, este trabajo pretendió, además de actualizar las estimaciones de los parámetros genéticos para el carácter miembros y aplomos (Pérez-Cabal y Alenda, 2002), estudiar las relaciones fenotípicas entre los valores genéticos de miembros y aplomos (MA) y los caracteres de interés económico: rentabilidad por vaca y año, producción, longevidad y fertilidad, así como estudiar sistemas alternativos de análisis de la calificación morfológica del carácter MA.

Material y métodos

Datos

Este trabajo se basó en cuatro fuentes de información sobre la población Frisona en control lechero de las Comunidades Autónomas del País Vasco y Navarra, obtenidos a través de la Asociación de Frisona de Navarra (AFNA) y la Federación Frisona de Euskadi (EFRIFE): El control lechero y la calificación morfológica (desde Enero de 1979 hasta Julio de 2003), el control reproductivo (desde Enero de 1986 hasta Julio de 2003) y la genealogía de todas las vacas con datos. Los datos económicos utilizados para calcular la rentabilidad corresponden a la media de 239 explotaciones del País Vasco en el año 1999, facilitados por las asociaciones territoriales a través de EFRIFE, siendo estos rebaños representativos de todos los del estudio en cuanto a sistema de producción y condiciones de mercado.

El carácter general MA se puntúa conforme a las siguientes categorías: Insuficiente (IN), Regular (R), Buena (B), Más que Buena (BB), Muy Buena (MB) y Excelente (EX). Además, cada una de estas categorías se subdivide en otras tres, siendo la clase 3 mejor que la clase 2 y la clase 2 mejor que la 1. Por lo tanto, son 18 clases en total.

Para calcular la rentabilidad de una vaca, se exigió que como mínimo la vaca hubiera tenido la oportunidad de estar al menos tres años seguidos produciendo y, por lo tanto, que su rebaño hubiera estado en control lechero al menos tres años consecutivos. El cálculo de la rentabilidad vitalicia se llevó a cabo con el mismo procedimiento que Pérez-Cabal (2002), expresándola en euros por vaca y año. Fue definida como la diferencia entre los ingresos y los costes vitalicios expresados por año de vida productiva.

La longevidad funcional (FHL) se obtuvo como la duración de la vida productiva útil

(VPU), calculada como el periodo desde el primer parto hasta el secado de su última lactación, ajustada por los kilogramos de leche, grasa y proteína en primera lactación, mediante una regresión de términos lineales y cuadráticos significativos para los tres caracteres (Pérez-Cabal, 2002).

Análisis fenotípico

Se analizaron los caracteres productivos y de longevidad según la calificación morfológica de MA en base a la información de 62.293 vacas. En cuanto a la fertilidad, el archivo sobre datos reproductivos contó con aproximadamente la mitad de los registros (24.561 vacas) debido a un alto porcentaje de datos faltantes o erróneos. En la tabla 1 se muestran la media y desviación estándar de las variables estudiadas. Las relaciones fenotípicas entre MA y la rentabilidad, los parámetros productivos y los de fertilidad, fueron estimadas por un modelo fijo mediante el procedimiento GLM (SAS, 2001). El modelo incluyó los mismos efectos fijos que se especificaron para las valoraciones genéticas y la calificación morfológica de MA como variable independiente. Los caracteres intervalo entre partos y días secos fueron analizados con y sin covariable de producción de leche estandarizada a 305 días en primera lactación.

Se calcularon las medias fenotípicas ajustadas por mínimos cuadrados en función de las clases de MA. Para estudiar las diferencias entre medias se utilizó el test de Tukey de comparación múltiple de medias, considerando un nivel de significación del 5%.

Análisis genético

Para la estimación de los parámetros genéticos de los caracteres de rentabilidad, de producción, de longevidad, de fertilidad y morfológicos, se utilizaron datos de 62.293 vacas,

Tabla 1. Media y desviación estándar (d.e.) de la calificación morfológica de miembros y aplomos (MA), rentabilidad (RENT), producción en primera lactación (KGL1, KGG1, KGP1) y vitalicia de leche, grasa y proteína (LECHE, GRASA, PROTEÍNA, respectivamente), longevidad funcional (FHL), vida productiva útil (VPU), intervalo entre partos (IPP) y número de inseminaciones (NIA), para la población de vacas estudiadas

Table 1. Means and standard deviation (d.e.) of feet and legs (MA) classification, profit (RENT), 305d standardize milk, fat, and protein production in first lactation (KGL1, KGG1, KGP1), lifetime milk, fat, and protein production (LECHE, GRASA, PROTEINA), functional herd life (FHL), true herd life (VPU), calving interval (IPP), and number of inseminations (NIA), for the studied population

	Media	d.e.
MA	8,27	2,40
RENT (€ por vaca y año)	150,89	414,99
KGL1 (kg)	6.603,14	1.803,88
KGG1 (kg)	247,24	71,34
KGP1 (kg)	206,01	59,62
LECHE (kg)	27.226,02	15.744,47
GRASA (kg)	1.018,49	593,89
PROTEINA (kg)	844,57	484,17
FHL (días)	1.414,65	783,65
VPU (días)	1.328,29	751,85
IPP (días)	407,83	50,03
NIA	1,91	0,97

ya que se exigió que cada registro estuviera dentro de un grupo de comparación de, al menos, tres observaciones y que tuviera datos completos de rentabilidad, producción y tipo. El archivo genealógico estuvo formado por 85.718 animales. Los distintos análisis genéticos se llevaron a cabo mediante el procedimiento de máxima verosimilitud restringida (REML), bajo el algoritmo AG (Gradientes Analíticos), utilizando el software VCE 4.0 (Groeneveld y García Cortés, 1998). Los parámetros genéticos se estimaron realizando análisis bicarácter (por requerimientos computacionales), de manera que siempre uno de los caracteres fuera MA. Los modelos utilizados fueron:

- Para rentabilidad, producción vitalicia de leche, grasa y proteína, número de lactaciones, días secos, días en lactación y porcentaje de días en lactación:

$$y = \mu + RAp + animal + e$$

- Para los caracteres de longevidad (VPU y FHL) y producciones a 305 días en primera lactación de leche, grasa y proteína:

$$y = \mu + RAp + Mp + EPP + animal + e$$

- Para los caracteres de fertilidad (NIA, IPP):

$$y = \mu + RAp + Mp + LAE + animal + e$$

- Para miembros y aplomos:

$$MA = \mu + RVC + LAE + El + animal + e$$

donde: *RAp* corresponde al efecto Rebaño-Año de primer parto (7.263 clases), *Mp* es el efecto Mes de parto (12 clases), *EPP* es el efecto Edad al Primer Parto (4 clases), *LAE* es el efecto Lactación-Edad al parto (3 clases), *RVC* es el efecto Rebaño-Visita-Calificador (7.357 clases), *El* es el efecto Estado de lactación (11 clases), es decir, en qué momento de la lactación se encuentra cuando la califican, y *e* es el error asociado a cada observación.

Las regresiones de los valores genéticos de los demás caracteres a partir de los valores genéticos predichos para MA se estimaron usando el procedimiento GLM (SAS, 2001). En el caso de la rentabilidad, sus valores genéticos se ajustaron por producción (leche, grasa y proteína) estandarizada a 305 días en primera lactación, para eliminar el efecto del nivel productivo.

Ante la posibilidad de que las correlaciones genéticas de MA con la rentabilidad resultaran bajas y fueran significativas las relaciones cuadráticas entre valores genéticos (como ha ocurrido en Pérez-Cabal y Alenda, 2002), se analizó el carácter de locomoción de forma alternativa, como dos diferentes. Se consideraron dos caracteres distintos de MA atendiendo a las dos tendencias diferenciadas encontradas en la relación cuadrática con rentabilidad, de tal forma que cada vaca sólo tuviera dato de uno de los dos caracteres ficticios. Se agruparon los animales de las clases Insuficiente, Regular y Buena en un nuevo carácter denominado MA1, con información de 42.036 vacas, y los de las calificaciones Más que Buena, Muy Buena y Excelente como el carácter MA2, con 20.259 vacas.

Para el estudio del sistema de calificación morfológica de miembros y aplomos se reagruparon las 18 clases actuales de MA en función de las medias corregidas por mínimos cuadrados de rentabilidad obtenidas, de las diferencias entre ellas y buscando grupos equilibrados en cuanto al número de datos.

Comportamiento de las vacas con mejor calificación frente al resto

Para estudiar las posibles diferencias de comportamiento productivo entre las vacas bien calificadas y el resto, los animales se separaron en dos grupos. Uno formado por las 2.527 vacas calificadas Excelentes y Muy Buenas (MAEXMB) y el otro, formado por las 59.766 vacas restantes (MASinEXMB). Se realizaron análisis de los parámetros genéticos y

de las relaciones genéticas entre estos dos grupos de datos y el carácter MA completo.

Resultados y discusión

Medias fenotípicas corregidas por mínimos cuadrados

Calificación de miembros y aplomos

En la tabla 2 se muestran las medias fenotípicas de rentabilidad corregidas por mínimos cuadrados de las 18 clases de MA y las diferencias significativas. Se pueden observar dos tipos de tendencias. Por un lado, las vacas calificadas de Insuficiente a Más que Buenas presentan un incremento moderado de la rentabilidad. En cambio, en las seis calificaciones más altas, las correspondientes a Muy Buenas y Excelentes, existen unos aumentos de la rentabilidad de una clase a la siguiente mucho mayor. Además, existen clases sin diferencias significativas para el carácter rentabilidad en un amplio número de calificaciones. Cabe destacar que sólo 82 animales fueron calificados como Excelentes para el carácter MA, de los cuales 52 pertenecían a la clase EX1, 26 a la EX2 y únicamente cuatro eran EX3. Esto afectó a los resultados de los análisis de las vacas calificadas como Excelentes, y por tanto, los resultados se compararán de aquí en adelante entre las peores (Insuficientes) y las Muy Buenas.

Rentabilidad y producción de leche

Se observó que las vacas con peor morfología locomotora tuvieron como media una rentabilidad negativa (-50 € por vaca y año), y que la diferencia entre la rentabilidad de una vaca Muy Buena y una Insuficiente fue de 178 € por vaca y año (tabla 3). El aumento de la producción de leche en primera lactación de vacas con mejores calificaciones del carácter es notable, obteniéndose apro-

ximadamente unos 573 kilogramos de leche en primera lactación de diferencia entre las vacas calificadas Muy Buenas respecto a las Insuficientes.

A pesar de que el presente estudio no ha analizado las cojeras sino la calificación morfológica, con estos resultados se afianza más la idea de que la locomoción influye en el rendimiento económico del animal, como ya propusieron autores como Boettcher et al. (1998), Kossaibati et al. (1999), Rajala-Schultz et al. (1999), Warnick et al. (2001) y Green et al. (2002). Estos resultados confirman el interés de los ganaderos por los caracteres de locomoción.

Longevidad

Para los valores medios de longevidad funcional (tabla 3), se observaron diferencias

significativas entre las seis clases de calificación de MA. Se estimó que el grupo de vacas Muy Buenas permaneció en el rebaño 307 y 108 días más que las calificadas como Insuficientes y Más que Buenas, respectivamente. Además, las vacas Muy Buenas tuvieron 0,8 lactaciones más, frente a las vacas calificadas como Insuficiente.

Por lo tanto, se podría llegar a inferir que unas buenas características morfológicas de locomoción hacen que una vaca tenga mayor número de lactaciones, aumentando de esta manera la producción vitalicia y, por lo tanto, la rentabilidad. Estos resultados coincidieron con los publicados por Boettcher et al. (1997), que encontraron que, cuando la longevidad es definida como número de lactaciones, algunos de los caracteres de locomoción son tan influyen-

Tabla 2. Valores medios ajustados por mínimos cuadrados de la rentabilidad (RENT) en función de la calificación en 18 clases de los miembros y aplomos (n = número de datos)

Table 2. Least square means and number of data (n) of profit (RENT) according to current classification of feet and legs in 18 classes

	n	RENT	e.e.
IN1	213	-117 ^j	22,3
IN2	514	-40 ^{ij}	14,2
IN3	494	-35 ^{ij}	14,5
R1	2.233	-19 ⁱ	6,9
R2	4.705	0 ^{hi}	4,8
R3	5.819	6 ^{hi}	4,3
B1	9.224	19 ^{gh}	3,4
B2	10.679	30 ^{fg}	3,2
B3	8.155	45 ^f	3,6
BB1	9.224	63 ^e	3,4
BB2	6.752	81 ^d	4,1
BB3	1.754	116 ^c	7,7
MB1	1.562	118 ^c	8,1
MB2	732	144 ^{bc}	11,7
MB3	151	211 ^{ab}	25,6
EX1	52	275 ^{ab}	43,6
EX2	26	412 ^a	60,4
EX3	4	570 ^{acdef}	155,1

Las medias con letras distintas son significativamente diferentes (P <0,05).

Tabla 3. Medias ajustadas por mínimos cuadrados y número de datos (*n*) de los parámetros productivos: rentabilidad (RENT), kilogramos de leche en primera lactación estandarizada a 305 días (KGL1), longevidad funcional (FHL), días en lactación (DLAC) y porcentaje de días en lactación (%DLAC), en función de las clases de miembros y aplomos (MA)

Table 3. Least square mean and number of data (*n*) of profit (RENT), 305d standardize milk in first lactation (KGL1), functional herd life (FHL), number of lactations (NLAC), days in milk (DLAC), and percentage of days in milk (%DLAC), according to feet and legs score (MA)

MA	<i>n</i>	RENT	KGL1	FHL	NLAC	DLAC	%DLAC
IN	1.221	-50 ^f	5.518 ^e	1216 ^f	3,2 ^f	321 ^{abc}	87,2 ^a
R	12.757	0 ^e	5.658 ^d	1306 ^e	3,4 ^e	318 ^c	86,2 ^b
B	28.058	30 ^d	5.775 ^c	1364 ^d	3,6 ^d	319 ^{bc}	85,9 ^c
BB	17.730	73 ^c	5.927 ^b	1415 ^c	3,7 ^c	320 ^a	85,5 ^d
MB	2.445	128 ^b	6.091 ^a	1523 ^b	4,0 ^b	321 ^{ab}	84,9 ^e
EX	82	330 ^a	6.341 ^a	1875 ^a	4,8 ^a	329 ^{ab}	84,1 ^{de}
r.s.d.		300,25	1.437,21	625,82	1,53	48,36	7,05

r.s.d.: desviación estándar del error

tes como los caracteres de ubre, ya que de todas las puntuaciones subjetivas de tipo, las de MA fueron las más importantes después de las de ubre. Los ganaderos justifican su interés en los caracteres de locomoción porque dicen que las vacas son más longevas, y los resultados de este trabajo apoyan esta opinión.

Días en lactación y días secos

Como se observa en la tabla 3, los días medios en lactación aumentaron para las vacas con los mejores aplomos. Sin embargo, prácticamente no hubo diferencias significativas entre las seis clases de MA, lo que podría indicar que este carácter no tiene una influencia clara en la duración de la lactación. En cuanto al porcentaje de días en lactación (respecto al total de vida productiva), los valores más altos corresponden a las vacas peor calificadas, obteniéndose diferencias significativas muy marcadas entre las distintas clases. Posiblemente esto sea debido a que las vacas con mala conformación de patas se desechan durante o al final

de las lactaciones, no permitiendo de esta manera su presencia en el rebaño durante el periodo seco. Así, en la tabla 4 se muestran las medias ajustadas por mínimos cuadrados para los días secos, sin y con corrección por producción de leche a 305 días. Una vaca Muy Buena tuvo un periodo de secado nueve días más largo que una Insuficiente, manteniéndose las diferencias al ajustar por producción.

Fertilidad

En la tabla 4 se muestran las medias ajustadas por mínimos cuadrados para el número medio de inseminaciones por lactación y el intervalo medio entre partos. Además, se muestran las medias el intervalo entre partos ajustadas por la producción de leche estandarizada a 305 días en primera lactación. En general, se observó una tendencia al empeoramiento de la fertilidad a medida que mejoró la calificación de los animales.

Hubo un ligero aumento del número medio de inseminaciones por lactación, pero el carácter MA no fue significativo al 5% en el

Tabla 4. Medias ajustadas por mínimos cuadrados y número de datos (*n*) de días secos (Dsec), días secos ajustados por producción (Dsec cov), intervalo entre partos (IPP), número de inseminaciones (NIA) y número de inseminaciones ajustadas por producción, para cada clase de miembros y aplomos (MA)

Table 4. Least square mean and number of data (n) of dry days (Dsec), dry days adjusted for production (Dsec cov), calving interval (IPP), calving interval adjusted for production (IPP cov), and number of inseminations (NIA), according to feet and legs score (MA)

MA	<i>n</i>	Dsec	Dsec cov	IPP	IPP cov	NIA
IN	562	56 ^e	54 ^d	408 ^b	412 ^{ab}	1,72
R	5.420	60 ^d	58 ^c	407 ^b	412 ^{ab}	1,77
B	11.034	62 ^c	60 ^b	407 ^b	411 ^b	1,77
BB	6.633	63 ^b	62 ^a	409 ^b	413 ^{ab}	1,79
MB	891	65 ^a	64 ^a	415 ^a	418 ^a	1,85
EX	21	58 ^{abcde}	57 ^{abcd}	416 ^{ab}	417 ^{ab}	2,03
r.s.d.		26,71	26,50	49,24	0,93	48,39

r.s.d.: desviación estándar del error.

modelo, y no existieron diferencias significativas claras entre las distintas clases. En cuanto al intervalo entre partos, se observan mayores intervalos en los animales con buenas calificaciones de MA, siendo el intervalo medio de las vacas peor calificadas de siete días menos respecto a las Muy Buenas. Las medias de las vacas Excelentes y Muy Buenas resultaron ser significativamente distintas al resto de las clases, por lo que podría decirse que el intervalo entre partos se incrementa significativamente en los animales calificados en estas dos clases.

Una de las posibles causas de la pérdida de fertilidad en las vacas mejor calificadas podría ser el desorden energético que ocurre por el hecho de ser vacas más productoras. Sin embargo, un ajuste del intervalo entre partos por la producción de leche a 305 días en primera lactación (tabla 4) no modificó los resultados. Dados estos resultados, en este estudio se desecha una relación positiva entre el fenotipo locomotor de las vacas y los parámetros de fertilidad, como varios autores publicaron anteriormente (Choi y McDaniel, 1993; McDaniel, 1997; Sattler, 2002; Fatehi et al., 2003).

Parámetros genéticos

Heredabilidad

Como se muestra en la tabla 5, las heredabilidades de los caracteres de locomoción obtenidas en este estudio están en la línea de otros trabajos publicados anteriormente. Se obtuvo una heredabilidad baja para MA (0,14). Esta estimación fue prácticamente igual a la hallada por Klassen et al. (1992) de 0,13 y por Jairath et al. (1998) de 0,12. Pérez-Cabal y Alenda (2002) obtuvieron un valor de 0,12 para la misma población pero con datos hasta el año 2000.

La rentabilidad por vaca y año en la población estudiada presentó una heredabilidad ligeramente más baja (0,20) que la obtenida por Pérez-Cabal y Alenda (2002) de 0,25 en un estudio con un 35% menos de animales. Las heredabilidades resultantes de los kilogramos de leche, grasa y proteína estandarizada a 305 días en primera lactación fueron 0,34, 0,28 y 0,31, respectivamente, siendo unos valores muy parecidos a los calculados por Charfeddine (1998) y por Pérez-Cabal y Alenda (2002) para la población del País Vasco y Navarra. En cuanto a las produccio-

nes vitalicias de leche, grasa y proteína, las heredabilidades estimadas fueron de 0,11, 0,12, 0,10, respectivamente, muy similares a los valores obtenidos en Canadá por Klassen et al. (1992).

Los dos caracteres de longevidad, VPU y FHL, presentaron heredabilidades de 0,10. Estos valores coinciden con los calculados por Charfeddine (1998) y son ligeramente superiores a los de Pérez-Cabal y Alenda (2002). Para los caracteres de fertilidad, IPP y NIA, las heredabilidades estimadas fueron de 0,04 para ambos, siendo del orden de los resultados presentados en la mayoría de los trabajos publicados en otros países (De Jong, 1997; Smith et al., 1998; Pryce et al., 2001; Veerkamp et al., 2001).

Con estos resultados es posible afirmar que las heredabilidades obtenidas son las espe-

radas, con excepción del carácter rentabilidad, que fue inferior a la obtenida en trabajos anteriores. También se deduce que la población estudiada posee una constitución genética de los caracteres de locomoción similar a las poblaciones de otros países.

Correlaciones genéticas

En general, las correlaciones genéticas entre las características locomotoras y los caracteres productivos y reproductivos más importantes en el ganado vacuno de leche fueron bajas, comprendidas entre 0,03 y 0,12 (tabla 5).

Los miembros y aplomos presentaron una correlación genética de 0,10 con la rentabilidad, mientras que los valores obtenidos para los caracteres de producción fueron muy bajos, lo que indica que, aparentemente, no estarían correlacionados con la loco-

Tabla 5. Heredabilidad (h^2) de miembros y aplomos (MA), rentabilidad (RENT), producción en primera lactación (KGL1, KGG1, KGP1) y vitalicia (LECHE, GRASA, PROTEÍNA) de leche, grasa y proteína, respectivamente, longevidad funcional (FHL), vida productiva útil (VPU), intervalo entre partos (IPP) y número de inseminaciones (NIA), y sus correlaciones genéticas con MA (ρ_g MA), y errores estándar (e.e.)
Table 5. Heritabilities (h^2) of feet and legs (MA), profit (RENT), milk, fat and protein production in first lactation (KGL1, KGG1, KGP1) and lifetime milk, fat and protein production (LECHE, GRASA, PROTEINA), functional herd life (FHL), true herd life (VPU), calving interval (IPP), number of inseminations (NIA), genetic correlations to MA (ρ_g MA) and standard error (e.e.)

	h^2 *	ρ_g MA	e.e.
MA	0,14	-	
RENT	0,20	0,10	0,032
KGL1	0,34	0,06	0,028
KGG1	0,28	0,03	0,029
KGP1	0,31	0,05	0,028
LECHE	0,11	0,08	0,040
GRASA	0,12	0,06	0,040
PROTEINA	0,11	0,08	0,040
FHL	0,10	0,05	0,045
VPU	0,10	0,05	0,045
IPP	0,04	0,12	0,054
NIA	0,04	0,05	0,072

*Error estándar: 0,006 - 0,009.

moción. Estos resultados coinciden con los obtenidos en otros estudios de la población lechera española (Charfeddine, 1998; Pérez-Cabal, 2002). Las correlaciones genéticas con los dos caracteres de longevidad resultaron ser también bajas (0,05), a diferencia de otros trabajos publicados, en los que los valores son moderados o altos (Vollema y Groen, 1997; De Jong et al., 1999; Pérez-Cabal, 2002). En cuanto a los caracteres de fertilidad, los MA resultaron estar más correlacionados con el intervalo entre partos (0,12) que con el número de inseminaciones (0,05).

Se ratifica la baja importancia genética de las características morfológicas de locomoción, tanto por bajas o moderadas heredabilidades, como por las bajas correlaciones genéticas existentes con rentabilidad, caracteres de producción, longevidad y fertilidad. Por lo tanto, se puede decir que estos resultados no explican la importancia económica que da el sector a los caracteres de locomoción en la selección de sus animales, tanto por el precio del semen, como por la ponderación de los caracteres de locomoción en los índices de selección utilizados.

Relaciones entre valores genéticos

Coincidiendo con lo publicado anteriormente por Pérez-Cabal y Alenda (2002) para la misma población de vacas pero con 35% menos de animales, la relación cuadrática fue la que mejor explicó la relación entre los valores genéticos predichos de MA con los de la rentabilidad ajustada por producción (figura 1 y tabla 6), a pesar de que los coeficientes de determinación no mejoraron sustancialmente. Se puede observar que valores positivos de caracteres de locomoción están asociados a valores genéticos positivos de rentabilidad, siendo los incrementos mayores para valores genéticos de MA superiores a uno. En cambio, la correlación

genética encontrada, a pesar de ser positiva, fue baja (0,10), debido posiblemente a la asunción de linealidad del método BLUP.

A diferencia de los resultados obtenidos por Larroque y Ducrocq (1999) y Pérez-Cabal y Alenda (2002), la relación entre los valores genéticos de MA y la FHL fue explicada mejor con el modelo cuadrático que solamente con efecto lineal. En Canadá, Dekkers et al. (1994) encontraron relaciones cuadráticas positivas para la población de vacas no registradas y efectos lineales negativos y cúbicos para la población conjunta de animales registrados y no registrados. Sin embargo, y a la vista de los coeficientes de determinación de los dos modelos (tabla 6), no hay mucha diferencia entre el ajuste lineal y el cuadrático. En cambio, no se puede afirmar que la selección por caracteres asociados a la vida en el rebaño sea una garantía para mejorar la funcionalidad o disminuir el desecho involuntario, como varios autores ya publicaron anteriormente (Short y Lawlor, 1992; Dekkers et al., 1994; Vollema y Groen, 1997; Jairath et al., 1998; De Jong et al., 1999; Pérez-Cabal y Alenda, 2002). Esto es debido a que, al igual que con la rentabilidad y los caracteres de producción, en el presente trabajo se obtuvo una correlación genética prácticamente nula entre los caracteres de longevidad y los miembros y aplomos.

En cuanto a la producción de leche (figura 1), se observan unas tendencias similares a las de rentabilidad, en lo que se refiere a las relaciones cuadráticas y lineales obtenidas. Esto era de esperar, ya que la producción de leche influye de manera significativa en la rentabilidad. Sin embargo, los coeficientes de determinación de estas regresiones (tabla 6) son muy bajos en general, de tal forma que los miembros y aplomos explican como máximo el 4% de la variabilidad total de la producción de leche.

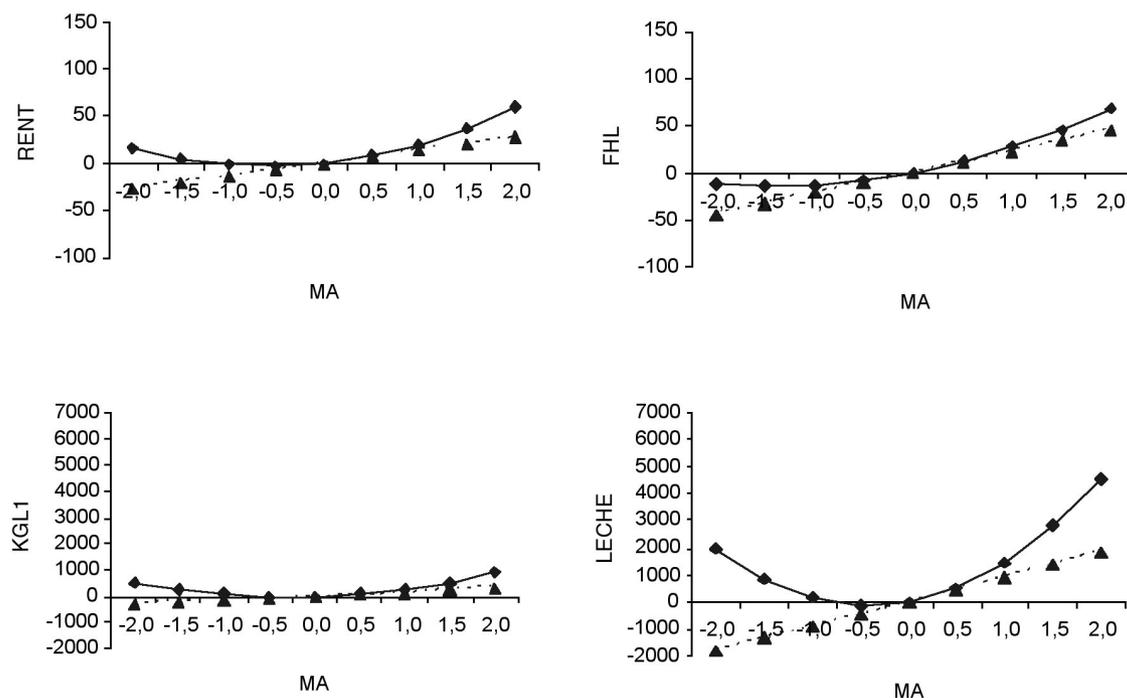


Figura 1. Relaciones lineales (\blacktriangle) y cuadráticas (\blacklozenge) significativas entre el valor genético de la rentabilidad (RENT) (en euros por vaca y año) ajustada por producción, la longevidad funcional (FHL) (en días), kilogramos de leche a 305 días en primera lactación (KGL1) y producción de leche vitalicia (LECHE), con los valores genéticos de miembros y aplomos (MA).

Figure 1. Significant linear (\blacktriangle) and quadratic (\blacklozenge) relationships between breeding values of profit adjusted for production (RENT) (euros per cow and year), functional longevity (FHL) in days, first lactation 305 days milk production (KGL1) and lifetime milk production (LECHE), with feet and legs (MA).

Análisis alternativo de la relación entre rentabilidad y miembros y aplomos

Como se muestra en la tabla 7, las heredabilidades para cada uno de los dos caracteres ficticios fueron bajas (0,05 y 0,08), inferiores a la del carácter real. Además, las correlaciones genéticas con la rentabilidad resultaron prácticamente nulas (-0,07 y 0,05, para MA1 y MA2, respectivamente) y las pérdidas de la varianza genética fueron altas, por lo que este planteamiento no resultó recomendable.

Dado que el análisis genético con datos desconocidos podría estar sesgado en cuanto a las correlaciones con rentabilidad, ya que se hallarían correlaciones con estimaciones de los caracteres con datos faltantes, también se realizaron los análisis genéticos de los dos caracteres ficticios por separado, es decir, sin datos faltantes. En este caso las heredabilidades tanto de MA1 como de MA2 y sus correlaciones genéticas con la rentabilidad fueron similares a las obtenidas anteriormente (resultados no presentados).

Tabla 6. Coeficientes lineales (L) y cuadráticos (Q) significativos, coeficientes de determinación (R^2) e incrementos del R^2 de la regresión de la estima del valor genético de la rentabilidad ajustada por producción (RENT), la longevidad funcional (FHL), kilogramos de leche a 305 días en primera lactación (KGL1) y la producción de leche vitalicia (LECHE), a partir del valor genético del carácter miembros y aplomos (MA)

Table 6. Significant linear (L) and quadratic (Q) regression coefficients for prediction of breeding value of profit adjusted for production (RENT), functional longevity (FHL), first lactation 305 days milk production (KGL1) and lifetime milk production (LECHE), from feet and legs (MA), coefficients of determination (R^2) and their increases

		Coeficiente	R^2	Incremento ³
RENT	L ¹	14,15	0,4966	-
	Q ²	7,89	0,4974	+0,0008
FHL	L	22,25	0,0124	-
	Q	6,83	0,0128	+0,0004
KGL1	L	145,06	0,0223	-
	Q	181,78	0,0364	+0,0141
LECHE	L	909,71	0,0283	-
	Q	816,80	0,0375	+0,0092

P < 0,0001.

¹Coeficiente de regresión en el modelo de primer orden.

²Coeficiente de regresión cuadrático en el modelo de segundo orden que incluye también efecto lineal.

³Diferencia entre coeficiente de determinación del modelo cuadrático con el lineal.

Tabla 7. Heredabilidades (h^2), varianzas genética (σ_g^2) y residual (σ_e^2) de la rentabilidad y miembros y aplomos, considerado como dos caracteres ficticios (MA1 y MA2), y las correlaciones genéticas (ρ_g) con la rentabilidad

Table 7. Heritabilities (h^2), genetic variances (σ_g^2) and residual (σ_e^2) of profit and feet and legs considered as two fictitious traits (MA1 and MA2), and genetic correlations (ρ_g) with profit

	h^2	σ_g^2	σ_e^2	$\rho_{g,RENT}$
RENT	0,20	18.683	74.307	-
MA1	0,05	0,09	1,460	-0,07
MA2	0,08	0,15	1,889	0,05

Estudio del sistema de calificación morfológica de miembros y aplomos

Análisis de la calificación de miembros y aplomos en 10 clases

En función de los resultados presentados en la tabla 2, de las medias de rentabilidad por mínimos cuadrados para cada una de las 18

clases de MA, el carácter MA se reagrupó en un total de 10 clases de la siguiente manera: Clase 1 (IN1, IN2, IN3); Clase 2 (R1); Clase 3 (R2, R3); Clase 4 (B1); Clase 5 (B2); Clase 6 (B3); Clase 7 (BB1); Clase 8 (BB2); Clase 9 (BB3, MB1, MB2); Clase 10 (MB3, EX1, EX2, EX3).

En la tabla 8 se muestran las heredabilidades y correlaciones genéticas del carácter

MA agrupado en las 18 clases tradicionales (MA18), en las 10 clases propuestas (MA10) y la rentabilidad. La heredabilidad de MA10 resultó prácticamente igual (0,13) a la de MA18, aunque su correlación genética con la rentabilidad mejoró ligeramente (0,12). Con MA10 se pierde el 28% de la variabilidad genética y residual respecto a la calificación actual. Por otra parte, la correlación genética obtenida entre las dos agrupaciones de MA fue de 0,99, lo que indica que ambos caracteres se comportan genéticamente igual.

La figura 2 muestra las relaciones cuadráticas significativas entre los valores genéticos de la rentabilidad y del carácter MA18 y MA10. Se observan las modificaciones que se obtuvieron al utilizar los valores genéticos de calificación en las 10 clases respecto a la calificación actual. Las mayores diferencias se dieron entre los valores positivos extremos. La calificación en 10 clases beneficiaría a los animales con valores genéticos altos de MA, mientras que no perjudicaría a los que presentarían índices bajos. El coeficiente de determinación para

Tabla 8. Heredabilidades (h^2), varianzas genética (σ^2_g) y residual (σ^2_e) de la rentabilidad (RENT), miembros y aplomos actual en 18 clases (MA18), miembros y aplomos propuesto en 10 clases (MA10) y las correlaciones genéticas (ρ_g) entre ellos

Table 8. Heritabilities (h^2), genetic variances (σ^2_g) and residual (σ^2_e) of profit (RENT), feet and legs classified in 18 classes (MA18), feet and legs classified in 10 classes (MA10) and genetic correlations (ρ_g) between them

	h^2	σ^2_g	σ^2_e	ρ_g RENT	ρ_g MA10
RENT	0,20	18.683	74.307	-	-
MA18	0,14	0,60	3,779	0,10	0,99
MA10	0,13	0,43	2,734	0,12	-

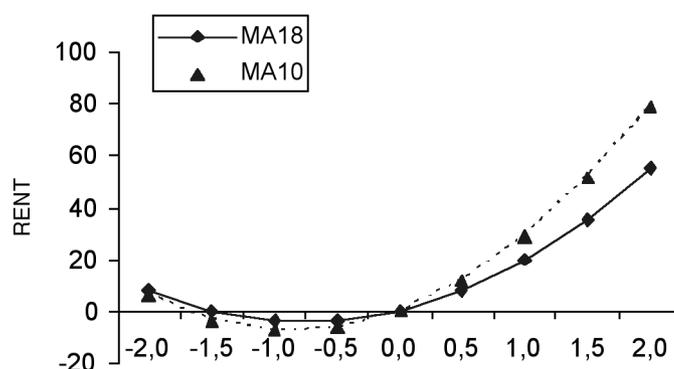


Figura 2. Representación gráfica de las relaciones cuadráticas significativas entre los valores genéticos de la rentabilidad y el carácter miembros y aplomos con 18 clases (MA18) y con la agrupación en 10 clases (MA10).

Figure 2. Significant quadratic relationships between breeding values of profit and feet and legs trait classified in 18 classes (MA18) and classified in 10 classes (MA10).

MA10 fue el mismo que el de MA18 (0,50). Sin embargo, el orden del coeficiente cuadrático de MA10 fue mayor que el coeficiente obtenido para MA18. A la vista de estos resultados, la agrupación en diez clases no presenta ninguna ventaja frente a la actual.

Comportamiento de las vacas con mejor calificación

En la tabla 9 se muestran los parámetros genéticos de las poblaciones de mejores vacas y del resto. La heredabilidad de la población sin las vacas Excelentes y Muy Buenas (MA_{sinEXMB}) y su correlación genética con rentabilidad fue de 0,12, siendo muy similar a la de la población completa (MA). En cuanto a la población de animales mejor calificados (MAEXMB), su heredabilidad fue baja (0,04) y las varianzas, tanto genética como residual, se redujeron drásticamente. La correlación con rentabilidad fue prácticamente nula pero con un error estándar alto. Por tanto, al contrario que Dekkers et al. (1994), que sí encontraron en sus estudios diferencias significativas entre las vacas "registered" y las "grade", con los datos del presente trabajo no se detectaron comportamientos diferentes concluyentes a nivel genético.

Conclusiones

La importancia que tiene el carácter miembros y aplomos para el sector se vio reflejada en las relaciones fenotípicas existentes con la rentabilidad, la producción y la longevidad, pero no con los parámetros de fertilidad. Los animales mejor calificados resultaron más rentables porque produjeron más leche, tuvieron más lactaciones y permanecieron más tiempo en el rebaño. Además, se recomienda seguir realizando la calificación morfológica de miembros y aplomos como actualmente, dado que la reagrupación en clases distintas dan lugar a una reducción de la variabilidad genética. Los resultados de este trabajo no muestran que exista tratamiento preferencial por parte de los ganaderos hacia las vacas con alta calificación morfológica de locomoción.

Sin embargo, las heredabilidades y las correlaciones genéticas estimadas fueron bajas. Por lo tanto, la respuesta a la selección sobre la rentabilidad, la producción, la longevidad y la fertilidad a través de la selección de los caracteres de locomoción, resultaría lenta y poco eficaz, aunque las relaciones genéticas significativas (aunque ligeras) de tipo cuadrático entre la rentabilidad y los caracteres de locomoción obteni-

Tabla 9. Heredabilidad (h^2), varianza genética (σ_g^2), varianza residual (σ_e^2) y correlaciones genéticas con la rentabilidad (ρ_g RENT), de la calificación de miembros y aplomos actual (MA), miembros y aplomos sin las vacas Excelentes y Muy Buenas (MA_{sinEXMB}) y miembros y aplomos de las vacas Excelentes y Muy Buenas (MAEXMB)

Table 9. Heritability (h^2), genetic variance (σ_g^2), residual variance (σ_e^2), and genetic correlations with profit (ρ_g RENT), of feet and legs as present classification (MA), feet and legs without Excellent and Very Good cows (MA_{sinEXMB}), and feet and legs of Excellent and Very Good cows (MAEXMB)

	h^2	σ_g^2	σ_e^2	ρ_g RENT	e.e.
MA	0,14	0,60	3,78	0,10	0,032
MA _{sinEXMB}	0,12	0,43	3,33	0,12	0,006
MAEXMB	0,04	0,03	0,67	-0,06	0,424

das deberían ser estudiadas en futuros trabajos y consideradas en los programas de selección y en la planificación de los apareamientos.

Actualmente, la selección para evitar los problemas locomotores se realiza únicamente mediante la evaluación genética de los caracteres morfológicos de locomoción. A pesar de que en algunos países se recogen datos de cojeras clínicas, como manifestación de los problemas de locomoción, en estos momentos ningún país evalúa oficialmente este carácter. Sin embargo, en estudios científicos se han obtenido resultados significativos en la mejora de la rentabilidad considerando las valoraciones genéticas de cojeras.

Por tanto, sería recomendable implementar la recogida de datos referentes a las cojeras clínicas, para estudiar su posible incorporación como carácter en la selección de los animales por locomoción.

Bibliografía

- Boelling D, Pollot GE, 1998. Locomotion, lameness, hoof and leg traits in cattle. 1. Phenotypic influences and relationships. *Livest. Prod. Sci.* 54: 193-203.
- Boettcher PJ, Jairath LK, Koots KR, Dekkers JCM, 1997. Effects of interactions between type and milk production on survival traits of Canadian Holsteins. *J. Dairy Sci.* 80: 2984-2995.
- Boettcher PJ, Dekkers JCM, Warnick LD, Wells SJ, 1998. Genetic analysis of clinical lameness in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 81: 1148-1156.
- Charfeddine N, 1998. Selección por mérito económico global en el ganado vacuno frisón en España. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid.
- Choi YS, McDaniel BT, 1993. Heritabilities of measures of hooves and their relation to other traits of Holsteins. *J. Dairy Sci.* 76: 1989-1993.
- De Jong G, 1997. Scoring legs and feet in the Dutch conformation scoring system. *Proc. International Workshop on Genetic Improvement of Functional Traits in cattle; Health.* Uppsala, Sweden. *INTERBULL Bull.* 15: 115-122.
- De Jong G, Vollema AR, Van Der Beek S, Harbers A, 1999. Breeding value for functional longevity in the Netherlands. *Proc. of the International Workshop on EU Concerted Action Genetic Improvement of Functional Traits in Cattle; Longevity.* Jouy-En-Josas, France. *INTERBULL Bull.* 21: 68-72.
- Dekkers JCM, Jairath LK, Laurance BH, 1994. Relationships between sire genetic evaluation for conformation and functional herd life of daughters. *J. Dairy Sci.* 77: 844-854.
- Fatehi J, Stella A, Shannon JJ, Boettcher PJ, 2003. Genetic parameters for feet and legs traits evaluated in different environments. *J. Dairy Sci.* 86: 661-666.
- Green LE, Hedgest VJ, Schukken YH, Blowey RW, Packington AJ, 2002. The impact of clinical lameness on the milk yield of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85: 2250-2256.
- Groeneveld E, García Cortés LA, 1998. VCE 4.0, a (co)variance component package for frequentists and Bayesians. *Proc. 6th. World Congress on Genetics Applied to Livestock Production.* Vol. 27: 455-456.
- Jairath L, Dekkers JCM, Schaeffe LR, Liu Z, Burnside EB, Koldstad B, 1998. Genetic evaluation for herd life in Canada. *J. Dairy Sci.* 81: 550-562.
- Klassen DJ, Monardes HG, Jairath RIC, Hayes F, 1992. Genetic correlations between lifetime production and linearized type in Canadian Holsteins. *J. Dairy Sci.* 75: 2272-2282.
- Kossabati MA, Esslemont RJ, Watson C, 1999. The costs of lameness in dairy herds. Paper to the National Cattle Lameness Conference (Stoneleigh). <http://www.rdg.ac.uk/AcaDepts/aa/DAISY/DAISY1/Lamenesscost.htm>

- Larroque H, Ducrocq V, 1999. Phenotypic relationship between type and longevity in the Holstein breed. Proc. International Workshop on EU concerted action Genetic Improvement of Functional Traits in Cattle; Longevity. Jouy-En-Josas, France. INTERBULL Bull. 21: 96-103.
- McDaniel BT, 1997. Breeding programs to reduce foot and leg problems. Proc. International Workshop on Genetic Improvement of Functional Traits in cattle; Health. Uppsala, Sweden. INTERBULL Bull. 15: 115-122.
- National Animal Health Service, 1996. <http://animalscience-extension.tamu.edu/publications/13279245-L5195.pdf>
- Norman HD, Powell RL, Wright JR, Pearson RE, 1996. Phenotypic relationship of yield and type scores from first lactation with herd life and profitability. J. Dairy Sci. 79: 689-701.
- Pérez-Cabal MA, 2002. Predicción de la rentabilidad en el ganado vacuno lechero en España. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid.
- Pérez-Cabal MA, Alenda R, 2002. Genetic relationships between lifetime profit and type traits in Spanish Holstein cows. J. Dairy Sci. 85: 3480-3491.
- Pryce JE, Coffey MP, Simm G, 2001. The relationships between body condition score and reproductive performance. J. Dairy Sci. 84: 1508-1515.
- Rajala-Schultz PJ, Gröhn YT, McCulloch CE, 1999. Effects of milk fever, ketosis, and lameness on milk yield in dairy cows. J. Dairy Sci. 82: 288-294.
- SAS, 2001. User's Guide, Release 8.2. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Sattler JD, 2002. Herd Systems. The importance of locomotion. MidWest DairyBusiness, November: 32-34.
- Short TH, Lawlor TJ, 1992. Genetic parameters of conformation traits, milk yield, and herd life in Holsteins. J. Dairy Sci. 75: 1987-1998.
- Smith LA, Cassell BG, Pearson RE, 1998. The effects of inbreeding on the lifetime performance of dairy cattle. J. Dairy Sci. 81: 2729-2737.
- Veerkamp RF, Koenen EPC, De Jong G, 2001. Genetic correlations among body condition score, yield, and fertility in first-parity cows estimated by random regression models. J. Dairy Sci. 84: 2327-2335.
- Vollema AR, Groen AF, 1997. Genetic correlations between longevity and conformation traits in an upgrading dairy cattle population. J. Dairy Sci. 80: 3006-3014.
- Warnick LD, Janssen D, Guard GL, Gröhn YT, 2001. The effect of lameness on milk production in dairy cows. J. Dairy Sci. 84: 1988-1997.

(Aceptado para publicación el 18 de abril de 2005)