

Comparación de diversas dimensiones corporales entre novillas Senepol de musculatura normal y sus contemporáneas de musculatura doble heterocigota¹

Héctor Sánchez², Katherine Domenech², Gerardo Rivera³, Melvin Pagán⁴, Américo Casas⁴, Paul F. Randel⁴ y Gladycia Muñiz⁵

J. Agric. Univ. P.R. 101(1):17-34 (2017)

RESUMEN

Se compararon diferentes dimensiones corporales in vivo entre novillas Senepol de musculatura normal (MN; n=16) y sus contemporáneas heterocigotas para musculatura doble (DM; n=16). Se determinó el peso vivo (PV) y las dimensiones altura a la cruz (ACR), altura a la cadera (ACA), perímetro torácico (PTO), barril (BA), distancia entre el hombro y la punta del anca (DHA), así como el ancho (ANP), alto (ALP) y área (ARP) internos pélvicos en cada novilla. Se incluyó también la relación del PV sobre cada dimensión corporal, excepto ANP y ALP. Se analizaron los datos mediante los procedimientos GLIMMIX y CORR en SAS. Los respectivos genotipos MN y DM resultaron similares ($P>0.10$) en PV (415 y 434 kg), ACR (113 cm ambos), ACA (120 cm ambos), PTO (175 cm ambos), BA (209 y 214 cm), PV/BA (1.99 y 2.03 kg/cm), DHA (147 cm ambos), ANP (13 cm ambos), ARP (212 y 220 cm²) y PV/ARP (1.96 y 1.98 kg/cm²). Sin embargo, las novillas DM tendieron a presentar valores de PV/ACR, PV/ACA, PV/DHA y ALP mayores ($P<0.10$) que las MN por respectivos márgenes de 0.14 kg/cm, 0.15 kg/cm, 0.12 kg/cm y 0.59 cm. Mientras, la relación PV/PTO fue 0.09 kg/cm mayor ($P<0.05$) en las novillas DM. Los distintos pares de medidas corporales presentaron menor correlación entre sí en las novillas DM que en las MN. Estos resultados sugieren que la mayor musculatura visualmente observada en las novillas DM debe venir acompañada de hipotrofia en otros órganos y tejidos, sin incluir entre ellos el canal pélvico. Este efecto compensativo minimizaría la posibilidad de observar diferencias en medidas corporales in vivo entre novillas DM y MN.

Palabras clave: Senepol, musculatura doble, dimensiones corporales

¹Manuscrito sometido a la Junta Editorial el 12 de octubre de 2016.

²Catedrático Auxiliar, Departamento de Ciencia Animal. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.

³Estudiante graduado, Departamento de Agronomía y Horticultura, Universidad de Nebraska, Lincoln, NE.

⁴Catedrático, Departamento de Ciencia Animal. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.

⁵Exestudiante graduada, Departamento de Horticultura. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.

ABSTRACT

Comparison of body dimensions between normal and double muscled Senepol heifers

Different body dimensions were compared between 16 normally muscled (NM) and 16 heterocygous double muscled (DM) Senepol heifers. Body weight (BW), withers height (WH), hip height (HH), thoracic perimeter (TP), barrel (BA), shoulder to pin bone distance (SPD), and the internal pelvic width (PW), height (PH), and area (PA) were recorded in each heifer. Also included were the relationships of BW/body dimensions, except for dimensions PW and PH. Data were analyzed by the GLIMMIX and CORR procedures of SAS. The respective genotypes MN and DM did not differ ($P>0.10$) in BW (415 and 434 kg), WH (both 113 cm), HH (both 120 cm), TP (both 175 cm), BA (209 and 214 cm), BW/BA (1.99 and 2.03 kg/cm), SPD (both 147 cm), PW (both 13 cm), PA (212 and 220 cm²), and BW/PA (1.96 and 1.98 kg/cm²). However, DM heifers tended to present ($P<0.10$) higher values than NM heifers for BW/WH, BW/HH, BW/SPD, and PH by margins of 0.14 kg/cm, 0.15 kg/cm, 0.12 kg/cm, and 0.59 cm, respectively. Moreover, the BW/TP value was 0.09 kg/cm greater ($P<0.05$) in the DM than in NM heifers. The correlations between different pairs of body dimensions were lower in the DM than in the NM heifers. These results suggest that the enhanced musculature visually observed in DM heifers must be accompanied by hypotrophy of other body organs and tissues, but not including the pelvic region. This compensatory effect minimizes the possibility of observing differences in body dimensions in vivo between DM and NM heifers.

Key words: Senepol, double musculature, body dimensions

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años la presencia del fenotipo doble músculo (DM) ha sido identificada en el hato de ganado Senepol puro de la Universidad de Puerto Rico mantenido en Finca Montaña de Aguadilla. Esta condición se debe a una mutación natural causante de la inactivación del gen de miostatina, un potente regulador negativo de la masa muscular esquelética (Alford et al., 2009). Dicha inactivación resulta en un aumento masivo en masa muscular esquelética (Fiems, 2012), el cual es dependiente del genotipo del animal. En comparación con el ganado de musculatura normal (MN; sin la mutación), el ganado homocigoto DM (con dos copias de la mutación) presenta una considerablemente mayor masa muscular y una menor deposición de tejido adiposo; mientras que animales heterocigotos DM (con una sola copia de la mutación) presentan una masa muscular y contenido de grasa intermedios (Arthur y Hearnshaw, 1995; Short et al., 2002; Wiener et al., 2002; Casas et al., 2004).

Ambos fenotipos DM (heterocigoto y homocigoto) han sido objeto de gran atención alrededor del mundo debido a que su alterada conformación muscular resulta en un mayor rendimiento en músculos asociados con cortes de carne de alto valor económico (Johnson, 1981; Arthur y Hearnshaw, 1995). Sin embargo, a pesar de presentar estas importantes ventajas, el genotipo homocigoto DM también exhibe una serie de

desventajas, incluyendo mayor incidencia de enfermedades respiratorias y de distocia, sub-fecundidad, baja supervivencia en los becerros y mayor susceptibilidad al estrés (Alford et al., 2009; Fiems, 2012), lo que ha limitado grandemente su utilidad. No obstante, según diversos autores, cuando este gen se encuentra en forma heterocigota el animal es de alto rendimiento cárnico sin exhibir una aumentada incidencia de las desventajas previamente mencionadas. Bajo este supuesto se ha recomendado explotar en escala comercial este genotipo (Rollins et al., 1974; Carroll et al., 1978; Gariépy et al., 1999; Arthur y Hearnshaw, 1995; Alford et al., 2009). Sin embargo, los resultados que apoyan dicha conclusión provienen de otras razas en otras partes del mundo, los cuales no necesariamente tienen aplicabilidad al ganado Senepol en Puerto Rico. Por esto, la presente investigación fue dirigida a caracterizar y a evaluar las posibles diferencias en la conformación corporal in vivo entre el ganado Senepol de MN y la de sus contemporáneos heterocigotos DM.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron 32 novillas Senepol puras; 16 de MN (584.75 ± 29.21 días de edad; promedio \pm desviación estándar) y 16 heterocigotas DM (587.12 ± 21.83 días de edad), pertenecientes al hato de Finca Montaña (Estación Experimental Agrícola, Aguadilla, P.R.). La Figura 1 muestra ejemplares de los genotipos evaluados en la presente investigación en comparación con el genotipo homocigoto DM. El genotipo para el gen de miostatina de cada novilla fue confirmado previamente como parte de otra investigación. Las novillas tuvieron acceso ad libitum a pasturas de gramíneas tropicales y agua como su manejo de rutina. Al tomar la mayoría de las medidas de cada novilla individual en orden aleatorio el animal se encontraba bajo restricción parcial en un cepo.

Se determinó el peso vivo antes de las demás medidas. La Figura 2 muestra la localización en el cuerpo donde se determinaron las diferentes dimensiones corporales. Se verificó que el animal se encontrara completamente de pie y en posición cuadrada antes de efectuar cada medida. Luego de su restricción física en el cepo, a cada novilla se le midió la altura a la cruz (ACR) y la altura a la cadera (ACA) por medio de una regla tipo "T" (Measuring Stick for Beef and Dairy Cattle; Nasco, Ft. Atkinson, WI).⁶ Una cinta métrica flexible de fibra de vidrio (Ace Hardware Corporation, Yauco, PR) sirvió para determinar el perímetro

⁶Company or trade names in this publication are used only to provide specific information. Mention of a company or trade name does not constitute an endorsement by the Agricultural Experiment Station of the University of Puerto Rico, nor is this mention a statement of preference over other equipment or materials.

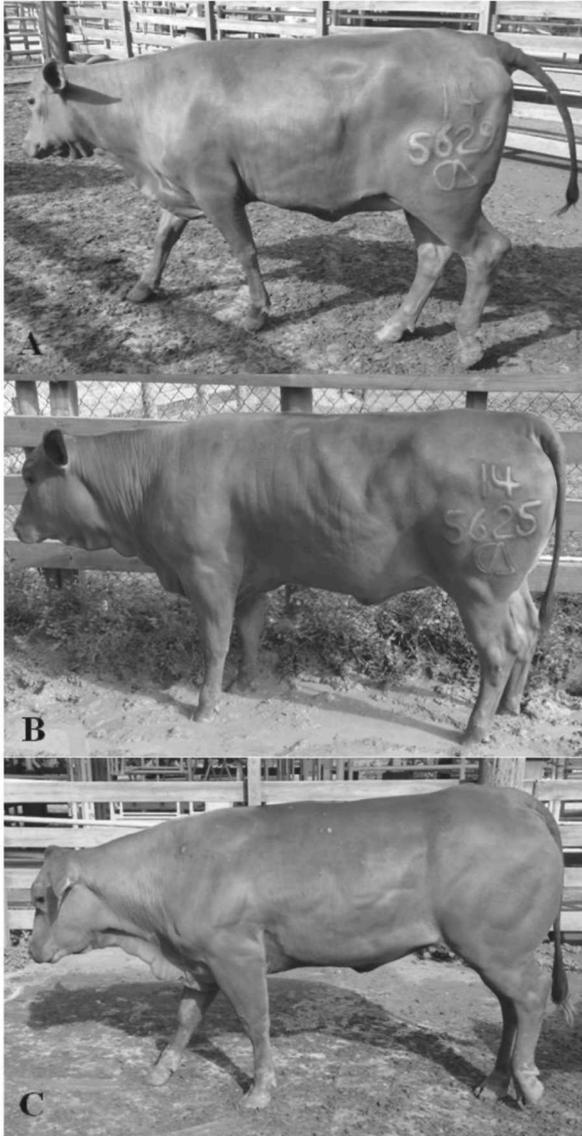


FIGURA 1. Ejemplares de novillas Senepol de MN (sin la mutación para miostatina; A), heterocigota para DM (con una sola copia del gen mutado; B) y homocigota para DM (con las dos copias del gen mutado; C). Note las diferencias en la conformación del cuarto trasero el cual es más redondeado en los ejemplares DM, mientras que en la novilla de MN este es más angular. La presente investigación solo comparó animales de MN y de DM heterocigota (Figuras 1A y 1B). La Figura 1C (novilla homocigota DM) se incluye para propósitos de comparación visual.

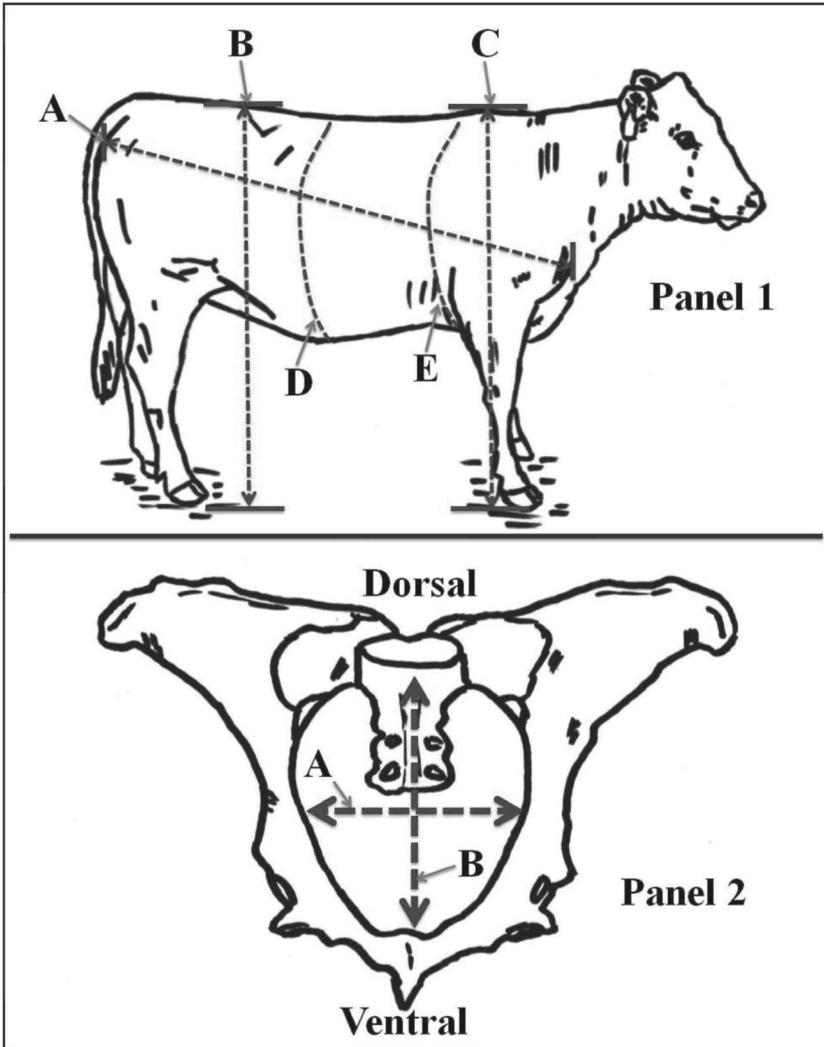


FIGURA 2. Panel 1, Ilustración de las medidas anatómicas externas colectadas en este estudio. A = distancia entre la punta del hombro y la punta del anca; B = altura a la cadera; C = altura a la cruz; D = circunferencia del barril; y E = perímetro torácico. Panel 2, Ilustración de la vista frontal de la pelvis bovina indicando las medidas tomadas: A = ancho interno pélvico, y B = altura interna pélvica; al multiplicar el ancho y el alto interno de la pelvis se obtuvo el área interna pélvica.

torácico (PTO; justo detrás del extremo inferior del húmero o codo), el barril (BA; justo detrás de la costilla número 13) y la distancia entre la punta del hombro y la punta del anca (DHA). También se midió el ancho (ANP) y el alto (ALP) internos de la pelvis de cada novilla vía rectal mediante un "Rice Pelvimeter" (Lane Manufacturing, 2075 So. Balentia St., Unit C, Denver, CO) y se obtuvo el área interna pélvica (ARP) al multiplicar ambas dimensiones. Además, se calcularon las relaciones de PV/ACR, PV/ACA, PV/PTO, PV/BA, PV/DHA y PV/ARP en cada novilla.

Cada una de las medidas corporales y su relación con el PV constituyó una variable dependiente del modelo estadístico. El análisis se realizó mediante el procedimiento GLIMMIX del programa SAS. El genotipo fue incluido como efecto fijo y la identificación de la novilla como efecto aleatorio. Además, se utilizó el procedimiento CORR para determinar los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables medidas en cada genotipo por separado. Se consideró como significativo un valor $P \leq 0.05$ y como indicativo de una tendencia estadística aquellos valores P entre 0.06 y 0.10. De no ser expresado de otra forma, los valores representan el promedio \pm error estándar.

RESULTADOS

El Cuadro 1 presenta los datos de cada genotipo de novillas Senepol para las diferentes variables determinadas. No se observaron diferencias entre genotipos ($P > 0.10$) en PV, ACR, ACA, PTO, BA, PV/BA, DHA, ANP, ARP o PV/ARP. Sin embargo, las novillas heterocigotas DM tendieron a superar ($P < 0.10$) a las MN en las relaciones de PV/ACR, PV/ACA y PV/DHA y la medida de ALP por respectivos márgenes de 0.14, 0.15 y 0.12 kg/cm y 0.59 cm; mientras la relación de PV/PTO fue 0.09 kg/cm mayor ($P < 0.05$) en las novillas heterocigotas DM que en sus contemporáneas MN.

Los Cuadros 2 y 3 muestran los coeficientes de correlación obtenidos entre las diferentes medidas corporales en las novillas MN y las heterocigotas DM, respectivamente. En general, se observó una mayor cantidad de correlaciones significativas o tendencias a correlacionar en las primeras. Similarmente, los coeficientes de correlación observados fueron de mayor magnitud en las novillas MN que en sus contemporáneas heterocigotas DM.

En las novillas MN, el PV resultó estar positiva y significativamente correlacionado ($P < 0.05$) con todas las dimensiones corporales y con las relaciones entre el PV y las dimensiones corporales; con la sola excepción de las tres dimensiones pélvicas ($P > 0.05$; Cuadro 2). En cambio, en las novillas heterocigotas DM el PV no estuvo asociado con la DHA ni con la relación PV/ARP, en adición a la también falta de corre-

lación con las tres dimensiones pélvicas ($P > 0.05$; Cuadro 3). Inclusive, la correlación de PV con ANP fue negativa ($r = -0.10$; Cuadro 3) en el grupo DM. Al interpretar los altos coeficientes de correlación de PV con otras variables que constan de fracciones numéricas donde el PV funge como numerador, hay que tener presente que semejante correlación incorpora un sesgo, ya que representa en parte la correlación de una variable consigo misma. La única excepción a este comportamiento fue la citada correlación no significativa ($r = 0.35$; $P > 0.10$) de PV con PV/ARP en el Cuadro 3.

En novillas de ambos genotipos, la ACR se correlacionó ($P < 0.001$) más estrechamente con la ACA que con las demás variables analizadas, siendo los coeficientes 0.83 (MN) y 0.76 (DM). En las novillas MN la ACR se correlacionó ($P < 0.05$) también con las medidas PTO ($r = 0.66$) y BA ($r = 0.59$) y con las relaciones PV/ACA ($r = 0.55$), PV/PTO ($r = 0.60$) y PV/DHA ($r = 0.69$). Por el contrario, en el grupo DM, solo hubo tendencias a correlacionar ($P < 0.10$) de ACR con las relaciones PV/PTO ($r = 0.50$), PV/BA ($r = 0.49$) y PV/DHA ($r = 0.45$).

Con respecto a la ACA, aparte de su citada correlación con ACR, en las novillas MN se correlacionó ($P < 0.05$) con las medidas PTO ($r = 0.72$), BA ($r = 0.54$) y ALP ($r = 0.51$) y con las relaciones PV/PTO ($r = 0.56$) y PV/DHA ($r = 0.70$); mientras en los animales DM solo se encontraron correlaciones ($P < 0.05$) con las relaciones PV/PTO ($r = 0.52$) y PV/BA ($r = 0.60$).

La medida PTO ha sido muy usada para determinar indirectamente el PV de bovinos y otras especies de animales en ausencia de facilidades para pesaje (Heinrichs et al., 1992), de modo que la alta correlación entre estas dos variables en las novillas MN ($r = 0.84$; $P < 0.0001$) era de esperarse; en cambio es notable la menor magnitud de esta correlación ($r = 0.67$) en las novillas DM, aunque siempre altamente significativas ($P < 0.01$). Ya se mencionó que en los datos de MN, pero no en los de DM, hubo correlación de PTO con ACR. Adicionalmente, en las novillas MN el PTO se correlacionó ($P < 0.05$) con la otra medida de circunferencia corporal (BA; $r = 0.54$) y con cuatro relaciones [PV/PTO ($r = 0.53$), PV/BA ($r = 0.63$), PV/DHA ($r = 0.88$) y PV/ARP ($r = 0.79$)]; mientras en las DM el PTO se correlacionó ($P < 0.05$) solo con dos de estas relaciones [PV/DHA ($r = 0.72$) y PV/ARP ($r = 0.59$)].

Referente a la medida BA, en novillas MN esta se correlacionó ($P < 0.05$) con las medidas ACR, ACA y PTO (anteriormente mencionado) y con ANP ($r = 0.61$); también con las relaciones PV/ACR ($r = 0.55$), PV/ACA ($r = 0.60$), PV/PTO ($r = 0.61$) y la relación PV/DHA ($r = 0.66$; $P < 0.01$). En las novillas DM el BA solo estuvo correlacionado ($P < 0.05$) con la relación PV/ACA ($r = 0.58$), en adición a tendencias a correlacionar ($P < 0.10$) con la medida PTO ($r = 0.46$) y las relaciones PV/ACR ($r = 0.49$), PV/BA ($r = -0.48$) y PV/DHA ($r = 0.48$).

CUADRO 1.—Comparación de las dimensiones corporales entre novillas Senepol con musculatura normal y sus contemporáneas de musculatura doble.

Variable	Musculatura Normal (n=16)				Musculatura Doble Heterocigota (n=16)				
	Promedio	Error Estándar	Mínimo	Máximo	Promedio	Error Estándar	Mínimo	Máximo	Valor-P
PV (kg)	415.43	10.25	336.36	490.91	433.89	4.95	393.18	462.73	0.1152
ACR (cm)	112.56	1.12	101.98	119.38	113.19	0.92	107.95	119.38	0.6653
PV/ACR (kg/cm)	3.69	0.07	3.13	4.15	3.83	0.04	3.62	4.18	0.0708
ACA (cm)	119.98	1.05	112.40	127.00	120.21	0.56	116.20	125.10	0.8425
PV/ACA (kg/cm)	3.46	0.08	2.94	3.92	3.61	0.03	3.35	3.82	0.0559
PTO (cm)	174.54	2.24	160.02	191.77	175.34	1.21	166.37	182.88	0.8080
PV/PTO (kg/cm)	2.38	0.04	2.10	2.68	2.47	0.02	2.34	2.64	0.0289
BA (cm)	208.76	3.49	181.61	245.11	214.05	2.38	195.58	237.49	0.3581
PV/BA (kg/cm)	1.99	0.04	1.69	2.25	2.03	0.02	1.88	2.18	0.3840
DHA (cm)	146.60	1.68	133.35	157.48	147.16	0.80	142.24	153.67	0.7678
PV/DHA (kg/cm)	2.83	0.06	2.52	3.31	2.95	0.03	2.76	3.14	0.0861
ANP (cm)	13.06	0.16	12.00	14.50	13.06	0.19	11.00	14.00	1.0000
ALP (cm)	16.25	0.20	15.00	17.50	16.84	0.24	15.00	18.00	0.0667
ARP (cm ²)	212.33	3.99	186.00	246.50	220.11	4.75	186.00	252.00	0.2198
PV/ARP(kg/cm ²)	1.96	0.05	1.62	2.28	1.98	0.05	1.71	2.36	0.7668

PV = Peso vivo; ACR = Altura a la cruz; PV/ACR = Relación peso vivo / altura a la cruz; ACA = Altura a la cadera; PV/ACA = Relación peso vivo / altura a la cadera; PTO = Perímetro torácico; PV/PTO = Relación peso vivo / perímetro torácico; BA = Barril; PV/BA = Relación peso vivo / barril; DHA = Distancia de la punta del hombro a la punta del anca; PV/DHA = Relación peso vivo / distancia de la punta del hombro a la punta del anca; ANP = Ancho interior de la pelvis; ALP = Altura interior de la pelvis; ARP = Área interior de la pelvis; PV/ARP = Relación peso vivo / área interior de la pelvis

CUADRO 2.—Coeficientes de correlación y sus correspondientes valores de probabilidad entre las diferentes medidas físicas evaluadas en la presente investigación en el grupo de novillas Senepol de musculatura normal.

	ACR	PV/ACR	ACA	PV/ACA	PTO	PV/PTO	BA	PV/BA	DHA	PV/DHA	ANP	ALP	ARP	PV/ARP
PV	0.72 0.0018	0.93 <.0001	0.72 0.0016	0.95 <.0001	0.84 <.0001	0.90 <.0001	0.66 0.0052	0.74 0.0011	0.60 0.0145	0.89 <.0001	0.19 0.487	0.17 0.5284	0.24 0.3651	0.75 0.0009
ACR	0.42 0.1045	0.83 <.0001	0.83 <.0001	0.55 0.0284	0.66 0.0053	0.60 0.0133	0.59 0.0157	0.43 0.0998	0.34 0.1986	0.69 0.0032	0.10 0.7195	0.36 0.1633	0.30 0.2511	0.44 0.0844
PV/ACR	0.51 0.0424	0.96 <.0001	0.96 <.0001	0.76 0.0006	0.76 0.0006	0.86 <.0001	0.55 0.027	0.75 0.0008	0.61 0.0114	0.81 0.0002	0.19 0.4764	0.03 0.9046	0.16 0.5602	0.75 0.0009
ACA	0.47 0.0645	0.54 0.0317	0.54 0.0317	0.48 0.0568	0.38 0.2065	0.56 0.0238	0.54 0.0317	0.48 0.0568	0.38 0.2065	0.70 0.0028	0.05 0.8623	0.51 0.0434	0.37 0.1567	0.41 0.1128
PV/ACA	0.75 0.0007	0.60 0.0144	0.60 0.0144	0.73 0.0014	0.62 0.0102	0.90 <.0001	0.60 0.0144	0.73 0.0014	0.62 0.0102	0.82 <.0001	0.22 0.414	-0.01 0.9596	0.14 0.5975	0.77 0.0005
PTO	0.53 0.0348	0.54 0.0316	0.54 0.0316	0.63 0.0082	0.30 0.2505	0.53 0.0348	0.54 0.0316	0.63 0.0082	0.30 0.2505	0.88 <.0001	0.02 0.9339	-0.05 0.8525	-0.02 0.9552	0.79 0.0003
PV/PTO	0.61 0.0122	0.66 0.0053	0.66 0.0053	0.72 0.0017	0.70 0.0025	0.61 0.0122	0.66 0.0053	0.72 0.0017	0.70 0.0025	0.28 0.2859	0.28 0.2514	0.30 0.2514	0.40 0.1278	0.55 0.0278
BA	-0.01 0.9586	0.27 0.3054	0.27 0.3054	0.66 0.0057	0.66 0.0057	-0.01 0.9586	0.27 0.3054	0.66 0.0057	0.66 0.0057	0.61 0.0127	0.26 0.3404	0.26 0.3404	0.58 0.019	0.20 0.4456
PV/BA	0.56 0.0246	0.60 0.0145	0.60 0.0145	0.60 0.0145	0.60 0.0145	0.56 0.0246	0.60 0.0145	0.60 0.0145	0.60 0.0145	0.28 0.2873	-0.28 0.2873	-0.01 0.9728	-0.19 0.4797	0.81 0.0001

PV = Peso vivo; ACR = Altura a la cruz; PV/ACR = Relación peso vivo / altura a la cruz; ACA = Altura a la cadera; PV/ACA = Relación peso vivo / altura a la cadera; PTO = Perímetro torácico; PV/PTO = Relación peso vivo / perímetro torácico; BA = Barril; PV/BA = Relación peso vivo / barril; DHA = Distancia de la punta del hombro a la punta del anca; PV/DHA = Relación peso vivo / distancia de la punta del hombro a la punta del anca; ANP = Ancho interior de la pelvis; ALP = Altura interior de la pelvis; ARP = Área interior de la pelvis; PV/ARP = Relación peso vivo / área interior de la pelvis

CUADRO 2.—(Continuación) *Coefficientes de correlación y sus correspondientes valores de probabilidad entre las diferentes medidas físicas evaluadas en la presente investigación en el grupo de novillas Senepol de musculatura normal.*

	ACR	PV/ACR	ACA	PV/ACA	PTO	PV/PTO	BA	PV/BA	DHA	PV/DHA	ANP	ALP	ARP	PV/ARP
DHA									0.18	0.22	0.19	0.28	0.36	
									0.5118	0.4089	0.4728	0.2889	0.1657	
PV/DHA										0.11	0.09	0.14	0.72	
										0.6739	0.7414	0.6096	0.0017	
ANP											0.13	0.76	-0.34	
											0.637	0.0006	0.1982	
ALP												0.74	-0.36	
												0.0011	0.1734	
ARP													-0.46	
													0.0736	

PV = Peso vivo; ACR = Altura a la cruz; PV/ACR = Relación peso vivo / altura a la cruz; ACA = Altura a la cadera; PV/ACA = Relación peso vivo / altura a la cadera; PTO = Perímetro torácico; PV/PTO = Relación peso vivo / perímetro torácico; BA = Barri; PV/BA = Relación peso vivo / barri; DHA = Distancia de la punta del hombro a la punta del anca; PV/DHA = Relación peso vivo / distancia de la punta del hombro a la punta del anca; ANP = Ancho interior de la pelvis; ALP = Altura interior de la pelvis; ARP = Área interior de la pelvis; PV/ARP = Relación peso vivo / área interior de la pelvis

CUADRO 3.—Coeficientes de correlación y sus correspondientes valores de probabilidad entre las diferentes medidas físicas evaluadas en la presente investigación en el grupo de novillas Senepol heterocigotas para musculatura doble.

	ACR	PV/ACR	ACA	PV/ACA	PTO	PV/PTO	BA	PV/BA	DHA	PV/DHA	ANP	ALP	ARP	PV/ARP
PV	0.56	0.72	0.55	0.92	0.67	0.80	0.48	0.54	0.34	0.88	-0.10	0.30	0.14	0.35
	0.0231	0.0016	0.0268	<.0001	0.0042	0.0002	0.0614	0.0306	0.1982	<.0001	0.7181	0.2503	0.6080	0.1789
ACR		-0.16	0.76	0.30	0.33	0.50	0.10	0.49	0.30	0.45	0.02	0.30	0.23	0.10
		0.541	0.0005	0.2517	0.2128	0.0507	0.7143	0.0558	0.2559	0.0828	0.944	0.2496	0.3847	0.7105
PV/ACR			0.02	0.84	0.53	0.54	0.49	0.24	0.16	0.68	-0.13	0.10	-0.04	0.35
			0.9488	<.0001	0.0362	0.0294	0.0557	0.3765	0.5478	0.0039	0.6197	0.7181	0.8917	0.1894
ACA				0.18	0.28	0.52	-0.04	0.60	0.24	0.46	-0.16	0.11	-0.02	0.30
				0.5034	0.3001	0.0389	0.8926	0.0138	0.3761	0.072	0.5549	0.6741	0.9451	0.2526
PV/ACA					0.67	0.70	0.58	0.35	0.29	0.83	-0.04	0.30	0.17	0.28
					0.0048	0.0025	0.0179	0.1796	0.2737	<.0001	0.8767	0.2564	0.5331	0.2957
PTO						0.10	0.46	0.24	-0.03	0.72	-0.19	-0.23	-0.28	0.59
						0.7113	0.0698	0.3695	0.9216	0.0015	0.4866	0.3848	0.2899	0.0159
PV/PTO							0.27	0.53	0.48	0.60	0.02	0.60	0.41	0.00
							0.3046	0.0354	0.0576	0.013	0.9351	0.0147	0.1105	0.9999
BA								-0.48	0.05	0.48	0.23	0.03	0.16	0.05
								0.0602	0.8522	0.058	0.3898	0.905	0.5409	0.8593
PV/BA									0.28	0.42	-0.32	0.27	-0.02	0.31
									0.2866	0.1011	0.2286	0.3115	0.9377	0.2422

PV = Peso vivo; ACR = Altura a la cruz; PV/ACR = Relación peso vivo / altura a la cruz; ACA = Altura a la cadera; PV/ACA = Relación peso vivo / altura a la cadera; PTO = Perímetro torácico; PV/PTO = Relación peso vivo / perímetro torácico; BA = Barril; PV/BA = Relación peso vivo / barril; DHA = Distancia de la punta del hombro a la punta del anca; PV/DHA = Relación peso vivo / distancia de la punta del hombro a la punta del anca; ANP = Ancho interior de la pelvis; ALP = Altura interior de la pelvis; ARP = Área interior de la pelvis; PV/ARP = Relación peso vivo / área interior de la pelvis

CUADRO 3.—(Continuación) *Coefficientes de correlación y sus correspondientes valores de probabilidad entre las diferentes medidas físicas evaluadas en la presente investigación en el grupo de novillas Senepol heterocigotas para musculatura doble.*

	ACR	PV/ACR	ACA	PV/ACA	PTO	PV/PTO	BA	PV/BA	DHA	PV/DHA	ANP	ALP	ARP	PV/ARP
DHA									-0.14	0.6173	-0.47	0.39	-0.05	0.25
PV/DHA									0.6173	0.0658	0.0658	0.1359	0.8581	0.3419
ANP									0.13	0.13	0.13	0.13	0.17	0.25
ALP									0.6279	0.6352	0.6279	0.6352	0.5261	0.3568
ARP									0.13	0.13	0.13	0.13	0.75	-0.77
									0.6312	0.6312	0.6312	0.6312	0.0008	0.0004
									0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	-0.54
									0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0304
														-0.87
														<0.0001

PV = Peso vivo; ACR = Altura a la cruz; PV/ACR = Relación peso vivo / altura a la cruz; ACA = Altura a la cadera; PV/ACA = Relación peso vivo / altura a la cadera; PTO = Perímetro torácico; PV/PTO = Relación peso vivo / perímetro torácico; BA = Barril; PV/BA = Relación peso vivo / barril; DHA = Distancia de la punta del hombro a la punta del anca; PV/DHA = Relación peso vivo / distancia de la punta del hombro a la punta del anca; ANP = Ancho interior de la pelvis; ALP = Altura interior de la pelvis; ARP = Área interior de la pelvis; PV/ARP = Relación peso vivo / área interior de la pelvis

En las novillas MN la medida DHA solamente se correlacionó ($P<0.05$) con las relaciones PV/ACR ($r=0.61$), PV/ACA ($r=0.62$), PV/BA ($r=0.56$) y PV/PTO ($r=0.72$; $P<0.01$). En las novillas DM la DHA solamente mostró tendencia a correlacionarse negativamente ($P<0.10$) con la medida ANP ($r=-0.47$) y positivamente con la relación PV/PTO ($r=0.48$).

En los datos relacionados a la región pélvica, lógicamente la ARP se correlacionó ($P<0.001$) con su ANP, tanto en novillas MN ($r=0.76$) como en las DM ($r=0.75$); también se correlacionó con su ALP en las novillas MN ($r=0.74$; $P<0.01$) y las DM ($r=0.75$; $P<0.001$). Además, en las novillas MN el ARP se correlacionó con el BA ($r=0.58$; $P<0.05$). La variable PV/ARP tendió a correlacionarse negativamente con su ARP en novillas MN ($r=-0.46$; $P<0.10$), mientras que en las DM esta correlación fue de alta magnitud ($r=-0.87$; $P<0.0001$). En estas novillas DM la relación PV/ARP también se correlacionó negativamente con la ANP ($r=-0.77$; $P<0.001$) y ALP ($r=-0.54$; $P<0.05$). Finalmente, la ALP se correlacionó con la relación PV/PTO en las novillas DM ($r=0.60$; $P<0.05$).

Cabe mencionar que al correlacionar una variable con una segunda en forma fraccional en la que la misma variable aparece como denominador, es lógico obtener coeficientes de correlación bajos o negativos, ya que esto puede entenderse en parte como la correlación de una variable con su propio recíproco. Como mencionado anteriormente, entre las seis correlaciones de esta índole calculadas en el presente estudio, en lo referente a las novillas DM, hay cuatro coeficientes de signo negativo [incluyendo la de ARP con PV/ARP ($r=-0.87$; $P<0.0001$) y la de BA con PV/BA ($r=-0.48$; $P<0.10$)], mientras las otras dos son positivas, pero muy bajas. En estas novillas DM la correlación en cuestión es más marcada que en las MN, dado que en las segundas hay dos de signo negativo [incluyendo la de ARP con PV/ARP ($r=-0.46$; $P<0.10$)], pero en cambio hay cuatro de signo positivo [incluyendo la de PTO con PV/PTO ($r=0.53$; $P<0.05$) y la de ACA con PV/ACA ($r=0.47$; $P<0.10$)]. Tal vez este contraste sea indicativo de relaciones anatómicas diferentes entre los dos genotipos.

DISCUSIÓN

La similaridad en cuanto a las dimensiones corporales entre ambos genotipos de musculatura observada en el presente estudio (Cuadro 1) coincide con los resultados de otros investigadores. Según Arthur y Hearnshaw (1995), el ganado heterocigoto DM presenta PV y tasas de crecimiento similares o ligeramente menores que el ganado de MN. En España, Martínez et al. (2010) no encontraron diferencias en PV al destete (253 días de edad) o a la matanza (466 a 479 días) o en el peso

y largo de la canal fría al comparar toretes heterocigotos DM con sus contemporáneos de MN en las razas Asturiana de los Valles y Asturiana de la Montaña. Wiener et al. (2002) no observaron diferencias en PV entre ganado South Devon (hembras y machos) heterocigotos DM y de MN, ni a los 200 ni a los 400 días de edad. Hanset et al. (1987) estudiaron toretes de 1 a 12 meses de edad hijos de toros Belgian Blue y tampoco observaron diferencias en PV entre los heterocigotos DM y los de MN. Esto sugiere que el mayor desarrollo muscular fenotípicamente observado en las novillas heterocigotas DM debe ir acompañado de un subdesarrollo o hipotrofia en otras áreas anatómicas, lo cual dificulta distinguir diferencias en PV o en medidas corporales directas entre los dos fenotipos.

Aún cuando las características de la canal no fueron evaluadas en el presente caso, presumiblemente el contraste observado entre los dos fenotipos en las relaciones entre el PV y varias dimensiones corporales puede reflejar una alterada relación entre los diferentes tejidos corporales. En el ganado DM se ha observado hipertrofia en los músculos asociados con los cortes de carne de mayor valor económico (Arthur y Hearnshaw, 1995) o en los músculos superficiales de mayor tamaño (Johnson, 1981). A la par con una mayor cantidad de músculo separable, Tatum et al. (1990) señalaron una menor cantidad de hueso separable, así como una mayor relación músculo / hueso en las canales de novillos heterocigotos DM (hijos de toros Piedmontese DM) en comparación con novillos de MN (hijos de toros Gelbvieh o Red Angus de MN) sacrificados entre los 124 y 208 días de edad. A base de su revisión de literatura, Fiems (2012) plantea que el ganado DM homocigoto presenta mejor conformación, es decir, una alta relación de músculo sobre otros tipos de tejido, incluyendo huesos, en comparación con la de MN. Diversos autores han indicado un menor tamaño y peso de otros componentes anatómicos, incluyendo las vísceras, en ganado DM que en sus contemporáneos de MN (Arthur y Hearnshaw, 1995; Kambadur et al., 1997; Fiems, 2012). Todo esto sugiere diferencias en la conformación corporal de ambos fenotipos que no necesariamente se traduzcan en diferencias en PV o en dimensiones físicas directas.

Una de las desventajas comúnmente asociadas al ganado homocigoto DM es un menor tamaño del canal pélvico y una mayor incidencia de distocia en comparación con vacas de MN (Vissac y Perreau, 1968; Arthur et al., 1988; Arthur y Hearnshaw, 1995). Múltiples autores han informado una asociación negativa entre el tamaño del canal pélvico y la incidencia de distocia en vacas de carne independiente del fenotipo muscular (Bellows et al., 1971; Deutscher, 1996; Bures et al., 2008). Por esto, a pesar de las ventajas de su mayor rendimiento en cortes con alto valor económico, el uso de ganado homocigoto DM en operaciones

comerciales no se considera viable (Alford et al., 2009). En los datos presentes no se observaron diferencias en las dimensiones ANP y ARP entre ambos fenotipos (Cuadro 1). Al contrario, las novillas heterocigotas DM tendieron a presentar mayores valores de ALP que las de MN. Según Deutscher (1996) y Troxel (2011) una novilla de carne de aproximadamente 18 a 19 meses de edad y 364 kg de PV debe tener al menos un área interna de la pelvis de 180 cm² para minimizar la probabilidad de distocia cuando llegue el momento de su primer parto. Es importante notar que las novillas de ambos genotipos superaron considerablemente estos valores mínimos de PV y ARP para la edad en cuestión. Diversos autores han encontrado una incidencia de distocia similar en vacas heterocigotas DM y en aquellas de MN (Arthur y Hearnshaw, 1995; Wiener et al., 2002). Por lo tanto, los resultados presentes apoyan el planteamiento de que el uso de hembras heterocigotas DM en una operación productiva no resultaría en un incremento significativo en la incidencia de problemas de parto asociado con las dimensiones corporales maternas.

Los estudios tempranos al respecto encontraron asociaciones débiles pero positivas entre la ALP y el ANP en vacunos de carne. Morrison et al. (1986) establecieron un coeficiente de correlación correspondiente de 0.29. Además, Benyshek y Little (1982) obtuvieron una asociación bastante parecida entre la ALP y el ANP ($r=0.34$) en novillas con alta influencia Simmental. También, Holm et al. (2014) establecieron coeficientes de correlación de 0.33 entre estas dos variables en novillas Bovelder. Sin embargo, para ambos genotipos en el presente estudio, estas dos dimensiones pélvicas resultaron no estar asociadas ($r=0.13$; Cuadros 2 y 3). Esto sugiere dos posibilidades. Primero, es posible que realmente estas dos variables no estuvieran asociadas en las poblaciones evaluadas. Esto podría implicar que es posible alcanzar un área interna de la pelvis apropiada para minimizar la incidencia de distocia mediante el aumento independiente en cualquiera de estas dos dimensiones. Segundo, es posible que, debido a la variabilidad natural de estos parámetros, el presente tamaño de muestra no permitiera detectar una relación existente.

Contrario a los presentes resultados, otros investigadores han detectado una relación entre el PV y las dimensiones pélvicas. Bellows et al. (1971) indicaron que el tamaño del canal pélvico, el ancho y el largo de la cadera y el PV están altamente correlacionados en novillas Hereford. Holm et al. (2014) obtuvieron asociaciones del PV con la ALP ($r=0.50$) y con el ANP ($r=0.46$) en novillas Bovelder. Naazie et al. (1991) observaron correlaciones menos estrechas del PV con el ANP ($r=0.30$), la ALP ($r=0.34$) y el ARP ($r=0.37$) en novillas de carne. Morrison et al. (1986) también establecieron correlaciones modestas entre el PV y la

ALP ($r=0.26$) en vacas de carne. Las correlaciones de Benyshek y Little (1982) fueron de semejante magnitud entre el PV y el ARP ($r=0.25$), la ALP ($r=0.23$) y el ANP ($r=0.21$) en novillas con alta influencia Simmental. Sin embargo, tanto Deutscher (1996) como Daly y Riese (1992) plantearon que aunque el PV y las dimensiones pélvicas suelen estar asociadas en novillas de carne, el primero no siempre es un adecuado predictor del segundo. Es decir, aunque existe en promedio una relación entre estas variables, hay novillas de gran tamaño y PV, pero con una pelvis pequeña y viceversa.

Los resultados presentes concuerdan con los de otros investigadores quienes afirman asociaciones entre el ARP, el ANP y la ALP en bovinos. Morrison et al. (1986) informaron correlaciones positivas ($r=0.79$) entre la ALP y el ARP y también entre el ANP y el ARP ($r=0.40$) en vacas de carne. Benyshek y Little (1982) concuerdan en cuanto a las asociaciones entre el ARP y la ALP ($r=0.80$) y entre el ARP y el ANP ($r=0.83$) en novillas con alta influencia Simmental. Hay que reconocer que, además de las posibles razones biológicas para estas asociaciones, también existe un sesgo en estos altos coeficientes de correlación debido a que el ANP y la ALP son multiplicados para determinar el ARP.

Diversos investigadores se han ocupado de las relaciones entre diferentes medidas corporales; tanto en ganado de leche, como en ganado de carne. Según Heinrichs et al. (1992) el PV, la ACR, el PTO, la DHA y el ancho de las caderas están todos altamente asociados en novillas Holstein. Bene et al. (2007) también observaron correlaciones positivas del PV con la ACR (0.55-0.59), la ACA (0.50-0.76) y el largo corporal (0.53-0.67); además de asociaciones entre la ACR y la ACA (0.67-0.78), la ACR y el largo corporal (0.32-0.51) y el largo corporal y la ACA (0.48-0.58) en vacas no seleccionadas para DM de las razas Simmental, Hereford y Angus. Alderson (1999) observó correlaciones positivas del PV con la ACR ($r=0.69$), la ACA ($r=0.66$) y el largo corporal ($r=0.86$), así como entre la ACR y la ACA ($r=0.90$), la ACR y el largo corporal ($r=0.72$) y el largo corporal y la ACA ($r=0.65$) en vacas de la raza White Park con MN. En la presente investigación, estas relaciones se observaron en un menor grado en las novillas heterocigotas DM que en las novillas de MN. Esto puede atribuirse a las diferencias en conformación y proporción de tejidos corporales entre genotipos previamente mencionadas. Carroll et al. (1978) plantearon que a pesar de una mayor musculatura visible que en el ganado de MN, el genotipo heterocigoto DM presenta también un mayor grado de variabilidad entre individuos en cuanto a la intensidad de su desarrollo muscular. Esta variabilidad puede haber afectado las asociaciones determinadas entre estas variables en las novillas de genotipo DM evaluadas.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio con 32 novillas Senepol sugieren que junto a la mayor musculatura esquelética superficial normalmente observada en las novillas heterocigotas DM, evidentemente estos animales deben presentar hipotrofia en otros tejidos u órganos corporales. Esto explicaría la ausencia de diferencias en medidas corporales directas, pero un mayor peso (o tendencia) por unidad de dimensión medida observada en las novillas DM. Afortunadamente, no hubo evidencia de un efecto adverso del genotipo DM sobre las dimensiones del canal pélvico en la raza Senepol. La comparación del rendimiento de los diferentes componentes de la canal y la incidencia de distocia entre animales de estos genotipos esperan futuros estudios.

LITERATURA CITADA

- Alderson, G. L. H., 1999. The development of a system of linear measurements to provide an assessment of type and function of beef cattle. *Animal Genetic Resources Information* 25: 45-55.
- Alford, A. R., W. A. McKiernan, L. M. Cafe, P. L. Greenwood y G. R. Griffith, 2009. The economic effects of using heterocigotes for a non-functional myostatin mutation within a commercial beef production system. Economic Research Report # 42. Industry and Investment. NSW Government. 1-22.
- Arthur, P. F., M. Maarechian y M. A. Price, 1988. Incidence of dystocia and perinatal calf mortality resulting from reciprocal crossing of double-muscle and normal cattle. *Can. Vet. J.* 29:163-167.
- Arthur, P. F. y H. Hearnshaw, 1995. Effect of double muscle on meat yield and tenderness. CSIRO Meat Industry Research Conference. 1-3.
- Bellows, R. A., R. B. Gibson, D. C. Anderson y R. E. Short, 1971. Precalving body size and pelvic area relationships in Hereford heifers. *J. Anim. Sci.* 33(2): 455-457.
- Bene, S., B. Nagy, L. Nagy, B. Kiss, J. P. Polgar y F. Szabo, 2007. Comparison of body measurements of beef cows of different breeds. *Arch. Tierz. Dummerstorf.* 50(4): 363-373.
- Benyshek, L. L. y D. E. Little, 1982. Estimates of genetic and phenotypic parameters associated with pelvic area in Simmental cattle. *J. Anim. Sci.* 54(2): 258-263.
- Bures, D., L. Barton, R. Zahrádková, V. Teslík y M. Fiedlerová, 2008. Calving difficulty as related to body weights and measurements of cows and calves in a herd of Gascon breed. *Czech J. Anim. Sci.* 53: 187-194.
- Carroll, F. D., R. B. Thiessen, W. C. Rollins y N. C. Powers, 1978. Comparison of beef from normal cattle and heterozygous cattle for muscular hypertrophy. *J. Anim. Sci.* 46(5): 1201-1205.
- Casas, E., G. L. Bennett, T. P. L. Smith y L. V. Cundiff, 2004. Association of myostatin on early calf mortality, growth, and carcass composition traits in crossbred cattle. *J. Anim. Sci.* 82(10): 2913-2918.
- Daly, R. F. y R. L. Riese, 1992. Pelvic measurements: Applications in beef cattle practice today. *Iowa State University Veterinarian* 54(1) 14: 44-51.
- Deutscher, G. H., 1996. Pelvic measurements for reducing calving difficulty. Beef Cattle Handbook. *Cooperative Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska-Lincoln.* 2130: 1-5.
- Fiems, L. O., 2012. Double muscling in cattle: Genes, husbandry, carcasses and meat. *Animals* 2(3): 472-506.

- Gariépy, C., J. R. Seoane, C. Cloteau, J. F. Martin y G. L. Roy, 1999. The use of double-muscled cattle breeds in terminal crosses: Meat quality. *Can. J. Anim. Sci.* 79(3): 301-308.
- Hanset, R., C. Michaux y A. Stasse, 1987. Relationships between growth rate, carcass composition, feed intake, feed conversion ratio and income in four biological types of cattle. *Genet. Sel. Evol.* 19: 225.
- Heinrichs, A. J., G. W. Rogers y J. P. Cooper, 1992. Predicting body weight and wither height in Holstein heifers using body measurements. *J. Dairy Sci.* 75(12): 3576-3581.
- Holm, D. E., E. C. Webb y P. N. Thompson, 2014. A new application of pelvis area data as culling tool to aid in the management of dystocia in heifers. *J. Anim. Sci.* 92(5): 2296-2303.
- Johnson, E. R., 1981. Carcass composition of double-muscled cattle. *Anim. Prod.* 33(01): 31-38.
- Kambadur, R., M. Sharma, T. P. Smith y J. J. Bass, 1997. Mutations in myostatin (GDF8) in double-muscled Belgian Blue and Piedmontese cattle. *Genome Res.* 7(9): 910-915.
- Martínez, A., N. Aldai, R. Celaya y K. Osoro, 2010. Effect of breed body size and the muscular hypertrophy gene in the production and carcass traits of concentrate-finished yearling bulls. *J. Anim. Sci.* 88(4): 1229-1239.
- Morrison, D. G., W. D. Williamson y P. E. Humes, 1986. Estimates of heritabilities and correlations of traits associated with pelvic area in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 63(2): 432-437.
- Naazie, A., M. Makarechian y R. T. Berg, 1991. Genetic, phenotypic, and environmental parameter estimates of calving difficulty, weight, and measures of pelvic size in beef heifers. *J. Anim. Sci.* 69(12): 4793-4800.
- Rollins, W. C., R. B. Thiessen y M. Tanaka, 1974. Usefulness of market double muscling gene. *California Agriculture* 7-9.
- Short, R. E., M. D. MacNeil, M. D. Grosz, D. E. Gerrard y E. E. Grings, 2002. Pleiotropic effects in Hereford, Limousin, and Piedmontese F2 crossbred calves of genes controlling muscularity including the Piedmontese myostatin allele. *J. Anim. Sci.* 80(1): 1-11.
- Tatum, J. D., K. W. Gronewald, S. C. Seideman y W. D. Lamm, 1990. Composition and quality of beef from steers sired by Piedmontese, Gelbvieh and Red Angus bulls. *J. Anim. Sci.* 68(4): 1049-1160.
- Troxel, T. R., 2011. Pelvic area measurements in the management of replacement heifers. Agriculture and Natural Resources. University of Arkansas. FSA 3010.
- Vissac, B. y B. Perreau, 1968. Etude du caractere culard. II. Incidence du caractere culard sur la morphologie generale des bovins. *Ann. Zootech.* 17: 77-101.
- Wiener, P., J. A. Smith, A. M. Lewis, J. A. Woolliams y J. L. Williams, 2002. Muscle-related traits in cattle: the role of the myostatin gene in the South Devon breed. *Genet. Select. Evol.* 34(2): 221-232.