

Análisis genético del cociente producción de leche/ perímetro torácico como indicador indirecto de la eficiencia en bovinos Holstein Friesian*

Héctor Castillo Juárez **
Ricardo Navarro Fierro***
Raúl Ulloa Arvizu***

Abstract

The objective of this paper was to study the milk yield/adjusted chest girth ratio, taking as an indirect measure of dairy productive efficiency, in order to include this as selection criterion in Holstein breeding programs. The additive variance and covariance component was estimated with Restricted Maximum Likelihood (REML) solutions extended to 305 days milk yield (PL), extended to 305 days and mature equivalent milk yield (PEM), constant chest girth at calving (PTA), PL/PTA ratio (ELAAJ) and PEM/PTA ratio (ELAEM). The heritability ($\pm$ standard error) estimated of PEM was 0.27 ± 0.11 ; PL, 0.19 ± 0.10 ; ELAAJ, 0.28 ± 0.11 ; ELAEM, 0.64 ± 0.14 ; and PTA, 0.25 ± 0.11 . Phenotypic and genetic correlations between these traits were estimated, and the most remarkable were ELAAJ with PTA (-0.11 ± 0.035 and -0.50 ± 0.029), with PL (0.96 ± 0.035 and 0.67 ± 0.196) and with PEM (0.94 ± 0.036 and 0.86 ± 0.100), and PTA with PL (0.17 ± 0.035 and 0.27 ± 0.397). A lower PTA value was found when selecting ELAAJ criterion in first calving cows, equivalent to a reduction in at least 20 kg of body weight at calving ($P < 0.05$). Finally, because ELAAJ is an indirect measure of efficiency and simple and easy to get, it is concluded that its inclusion in Holstein Friesian breeding programs has theoretical advantages in the efficiency which could have favorable repercussions in the dairy farmers economy.

Key words: DAIRY EFFICIENCY, MILK YIELD, CHEST GIRTH, HERITABILITY, GENETIC CORRELATION, HOLSTEIN.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue estudiar el cociente de producción de leche/perímetro torácico ajustado, considerándolo como un indicador aproximado de la eficiencia productiva lechera (ELA), a fin de incluirlo como criterio de selección en un programa de mejoramiento genético en ganado Holstein; con ese propósito se estimaron las varianzas y covarianzas aditivas utilizando el método de máxima verosimilitud restringida de la producción de leche ajustada a 305 días (PL) y ajustada a 305 días equivalente maduro (PEM), el perímetro torácico constante al momento del parto (PTA), el cociente PL/PTA (ELAAJ) y el cociente PEM/PTA (ELAEM). La heredabilidad para PL, PEM, ELAAJ, ELAEM y PTA fue de 0.19 ± 0.10 , 0.27 ± 0.11 , 0.28 ± 0.11 , 0.64 ± 0.14 y 0.25 ± 0.11 , respectivamente. Se estimaron las correlaciones fenotípicas y genéticas de las que sobresalen las correlaciones entre ELAAJ con PTA (-0.11 ± 0.04 y -0.50 ± 0.03), con PL (0.96 ± 0.04 y 0.67 ± 0.20) y con PEM (0.94 ± 0.04 y 0.86 ± 0.10), y PTA con PL (0.17 ± 0.04 y 0.27 ± 0.40). Se observaron valores inferiores

Recibido el 28 de junio de 1996 y aceptado el 27 de enero de 1997.

* El presente trabajo corresponde parcialmente a la tesis de maestría en Producción Animal, Genética, del primer autor.

** Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, Colonia Villa Quietud, 04960, México, D.F.

***Departamento de Genética y Bioestadística, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México, D.F.

en PTA equivalente a 20 kg de peso vivo menos en el 10% superior de ELAAJ de las vacas de primer parto. Por ser ELAAJ una medida indirecta de la eficiencia muy simple, se concluye que su inclusión en los programas de selección del ganado Holstein presenta ventajas teóricas en la eficiencia, que aunque pequeñas, pudieran repercutir favorablemente en la economía de la empresa dedicada a la producción de leche.

Palabras clave: EFICIENCIA LECHERA, PRODUCCIÓN DE LECHE, PERÍMETRO TORÁCICO, HEREDABILIDAD, CORRELACIÓN GENÉTICA.

Introducción

Una pregunta aun controversial es hasta qué punto la producción de leche y la eficiencia lechera dependen del tamaño corporal y de la conformación de la vaca. Se reconoce que el tema de la talla o tamaño de la vaca y su relación con la eficiencia, continuará siendo polémico hasta que se le aborde interdisciplinariamente.^{19,34} Sin embargo, la investigación reciente sobre este tópico no es muy abundante,^{1,6,13,23,33,42,48} si bien hay consenso acerca de que el peso o tamaño corporal debe estudiarse desde un punto de vista dinámico.^{31,32,35}

Aun cuando la talla o tamaño corporal recibe considerable atención en la mayoría de las calificaciones para tipo,⁴⁴ relativamente pocos investigadores han indagado sobre las relaciones genéticas entre talla y producción,^{9,14,24,34} a diferencia de la relación entre producción y tipo.² No existen publicaciones a este respecto realizadas con ganado mexicano. En algunas investigaciones sobre la relación entre peso corporal y producción de leche, el peso se estimó a partir de algunas biomediciones, usualmente el perímetro torácico,^{12,25,28,33} o bien además de evaluar al peso corporal se consideró al perímetro torácico y la alzada como indicadores del tamaño corporal.¹⁷

La definición más aceptada de eficiencia es el cociente de rendimiento a suministro (r/s).^{6,34} Brody⁵ propuso que para propósitos comparativos la eficiencia lechera debía expresarse como $LCG/P^{0.75}$ a lo que denominó mérito lechero, donde LCG es la leche corregida para grasa (4%) y $P^{0.75}$ es el peso metabólico. Con esta idea muchos autores han considerado que el cociente de la producción de leche y el perímetro torácico^{3,9,11,15,22,25,34} o el cociente de la producción de leche y el cuadrado del perímetro torácico o el de la producción y la alzada,⁴⁷ pueden contemplarse como una aproximación a la medida de la eficiencia productiva, obviando el hecho de que a mayor tamaño, mayor biomasa y a su vez, mayor necesidad de consumo de energía, con lo que para producciones diferentes y pesos equivalentes o para producciones equivalentes y distintos pesos es claro que se tienen eficiencias diferentes.⁷

Existe una alta correlación positiva entre tal tipo de mediciones.²⁴ Esta eficiencia de transformación de la energía para producción de leche está estrechamente asociada con la capacidad metabólica para convertir la energía del alimento en energía de leche. A pesar de lo simple y antiguo de este concepto, su aplicación práctica no ha sido del todo factible,¹¹ en gran medida debido a que la selección del ganado lechero se enfatiza en la producción de leche igno-

rando la eficiencia del proceso.^{6,29,37} Hooven *et al.*¹⁸ encontraron que la asociación genética entre peso y producción era positiva, pero negativa entre peso y eficiencia, y comentan que sería deseable usar un índice de selección con atención positiva a producción y negativa al peso. Debido a la relación entre eficiencia de utilización de alimento y el potencial productivo, Hickman y Bowden¹⁷ consideran adecuado el uso de la alzada o del perímetro torácico. Buttazzoni y Mao⁶ encontraron una correlación genética entre producción de leche con eficiencia neta para cambio en el peso corporal de -0.32 y de 0.17 entre eficiencia de energía neta de cambio en el peso corporal y la eficiencia de energía neta de producción de leche y estimaron un índice de herencia de 0.32 a 0.49 para la eficiencia de energía neta para producción de leche, pero el tipo de mediciones llevadas a cabo hacen impráctica su aplicación en gran escala.

Puede decirse que, en general, ha habido un esfuerzo insuficiente para estudiar los aspectos genéticos de la eficiencia lechera. De cualquier manera, si se llegan realizar aplicaciones genéticas dirigidas a la eficiencia *per se* sobre una población determinada, la medida deberá ser tan simple como sea posible.^{14,24}

El objetivo de este estudio consistió en estimar la heredabilidad del cociente producción de leche/perímetro torácico, considerado como un indicador indirecto y aproximado de la eficiencia productiva lechera (ELA), así como determinar el impacto sobre el tamaño corporal medido como el perímetro torácico ajustado al parto (PTA), derivado de considerar tal cociente como principal criterio en los programas de selección para ganado Holstein Friesian. Se estimó también la heredabilidad de la producción ajustada a 305 días (PL), ajustada a 305 días y equivalente maduro (PEM) y del PTA. Paralelamente se estimaron las regresiones parciales de producción y de ELA sobre el PTA, sobre edad y sobre número de parto, y se buscó determinar la existencia o no de un nivel óptimo de ELA. Además se estiman las correlaciones fenotípicas y genéticas existentes entre el PTA, con PL y con ELA.

Por último se estima la diferencia entre el PTA y la PL promedios en los animales seleccionados mediante el valor de ELA con la de los animales seleccionados sobre la base de considerar PL exclusivamente.

Material y métodos

Se utilizaron los registros de producción, reproducción y las mediciones del perímetro torácico de 1 039 vacas de la raza Holstein Friesian pertenecientes a tres hatos ubicados

en Ixtapaluca y Cuautitlán, ambos en el Estado de México, y Tizayuca, Hidalgo, en donde se tiene clima templado subhúmedo con una temperatura media anual de 15°C, cuyos partos ocurrieron entre enero de 1988 y marzo de 1990. Se tiene sólo un registro por cada vaca. Para el análisis de la información se consideran las siguientes variables:

PL = Producción extendida a 305 días

Se refiere a la producción extendida a 305 días por el método propuesto por Dairy Herd Improvement Association.²⁰ Sólo se incluyen aquellas vacas con lactancias de 30 o más días (primeros dos registros quincenales) y con estimaciones superiores a los 3 500 kg ($n = 998$). Los factores de corrección son distintos ya que se consideran dos grupos: vacas de 36 meses de edad o menores y mayores de 36 meses. No se lleva a cabo ningún otro ajuste para edad. Para su cálculo se utilizó el método de intervalo de prueba.²⁰

PEM = Producción ajustada a 305 días y a equivalente maduro

Igual a PL pero corregida para edad y fecha de parición, según los factores de ajuste elaborados para vacas Holstein mexicanas por McDowell *et al.*²⁶

PT = Perímetro torácico

Se refiere al promedio de dos mediciones independientes tomadas el mismo día por personas diferentes durante el ordeño vespertino ($n = 1\ 039$). Las vacas fueron medidas nuevamente cuando dichas mediciones tuvieron discrepancias superiores a tres centímetros. No existen mediciones periódicas, y por lo tanto, cada vaca presenta una sola medición en alguna etapa de su lactancia.

DL = Días en leche a la medición

Corresponde a los días transcurridos entre el parto y el momento de efectuar la medición del perímetro torácico. Se considera en la corrección del perímetro torácico en virtud de que tanto el peso como el tamaño corporal de la vaca lechera sufren modificaciones a lo largo de la lactancia. Sólo se incluyen vacas con menos de 150 días de gestación confirmada, dado que el valor del perímetro torácico y el del peso corporal se afectan de manera importante a partir de este momento por el crecimiento fetal.¹⁰

PTA = Perímetro torácico ajustado

En virtud de que el PT sufre modificaciones a lo largo de la lactancia, se consideran los días transcurridos entre el parto y la medición del PT (DL) con objeto de ajustar el perímetro torácico al momento del parto, según la siguiente ecuación de tercer grado, generada con los mismos datos con estimadores de mínimos cuadrados:

$$PTA = PT - (-0.129774 * DL) - (0.001414 * DL^2) - (-0.000003048 * DL^3)$$

ELA = Eficiencia productiva lechera aproximada (PL/PTA o PEM/PTA)

La eficiencia lechera aproximada fue definida como el cociente de PL/PTA o el de PEM/PTA, como ELAAJ o ELAEM, respectivamente.

ED = Edad de la vaca en meses a la medición

Se refiere a la edad de la vaca en meses al momento de realizar la medición del perímetro torácico.

EDP = Edad de la vaca en meses al parto

Corresponde a la edad de la vaca en meses al momento del parto cuya lactancia se considera en el análisis.

NP = Número de parto

Se refiere al número de parto de la vaca al momento de medir el perímetro torácico. Salvo para la estimación de las regresiones parciales de la producción o eficiencia en las diversas etapas de la lactancia sobre el número de parto, se formaron cinco grupos, donde el quinto incluye vacas de 5 o más partos ($n_1 = 462$; $n_2 = 251$; $n_3 = 131$; $n_4 = 95$; y $n_5 = 100$). Se agruparon debido a que se trata de vacas de 60 o más meses de edad y puede suponerse que no existen diferencias importantes de talla y producción por parto adicional, y en virtud de que las vacas de 5 o más partos corresponden solamente al 9.6% del total, por lo que, si se consideraran grupos más pequeños, los errores estándares para dichos grupos de los estimadores serían muy grandes.

H = Hato

Se tienen tres hatos que totalizan 1039 vacas lecheras de la raza Holstein Friesian y se encuentran ubicados en Ixtapaluca, Estado de México ($n = 903$) Tizayuca, Hidalgo ($n = 75$) y Cuautitlán, Estado de México ($n = 61$), este último corresponde al rancho Cuatro Milpas de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde las vacas son mantenidas bajo un sistema de producción intensiva, con estabulación permanente y dos ordeños diarios. Existen diferencias en la alimentación que está basada en el consumo de alfalfa fresca o henificada, silo de maíz, desperdicio de panadería, melaza, concentrado y, en el verano, avena y rye grass en el primero, y alfalfa fresca o henificada, concentrado y silo de maíz en los otros dos. La frecuencia de alimentación en todos ellos es cada ocho horas y se tienen separadas, para efectos de manejo, vaquillas de primer parto del resto de las productoras. La administración del concentrado se hace de acuerdo con el nivel de producción, ésta se mide cada 15 días.

S = Semental

Se refiere al padre de cada vaca ($n = 98$). Sólo se tiene información para dos de los tres hatos (el más grande y el

Cuadro 1
NUMERO DE OBSERVACIONES POR AÑO Y EPOCA DE PARTO

Epoca/Año	198	1989	199	Total
ENE-MAR	2	178	9	297
ABR-JUN	5	184	-	236
JUL-SEPT	110	151	-	261
OCT-DIC	167	78	-	245
TOTAL	357	591	9	1039

más pequeño). Los sementales ($n = 7$) que se utilizan en el hato con número de animales más pequeño son usados también en el otro hato. No existe esta información para un total de 90 vacas.

Cuadro 2
PROMEDIOS Y DESVIACIONES ESTANDAR DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS POR NUMERO DE PARTO

Variable	Parto 1			Parto 2		
	N	X	S	N	X	S
PTA	382	186.8	7.42	193	196.6	7.57
PL	370	6080.7	1008.36	193	6495.9	1189.62
PEM	365	7351.5	1337.89	192	7319.5	1477.64
ELAAJ	370	32.6	5.44	193	33.1	6.31
EDAD	376	28.6	3.65	192	44.6	6.47
EDADP	376	26.0	2.73	192	42.1	5.78
ELAEM	365	39.5	7.36	192	37.3	7.85

Variable	Parto 3			Parto 4		
	N	X	S	N	X	S
PTA	102	200.7	7.53	70	200.7	7.41
PL	102	6528.9	1333.18	69	6402.6	999.05
PEM	102	6943.6	1445.55	69	6582.5	1004.43
ELAAJ	102	32.6	6.62	69	31.9	4.87
EDAD	102	58.5	7.20	70	68.9	8.22
EDADP	102	55.6	6.94	70	65.8	8.15
ELAEM	102	34.6	7.27	69	32.8	4.96

Variable	Parto > 5			General		
	N	X	S	N	X	S
PTA	71	203.1	7.15	818	193.5	9.86
PL	71	6729.3	1089.04	802	6320.3	1126.93
PEM	67	6939.6	1124.20	795	7190.0	1365.39
ELAAJ	68	33.1	5.38	802	32.7	5.77
EDAD	70	95.1	14.84	810	45.4	21.49
EDADP	70	92.0	15.10	810	42.7	21.19
ELAEM	67	34.1	5.54	795	37.3	7.53

PTA = Perímetro torácico ajustado al parto; PL = Producción de leche ajustada a 305 días; PEM = Producción de leche ajustada 305 días y equivalente maduro; ELAAJ = Eficiencia lechera (PL/PTA); ELAEM = Eficiencia lechera (PEM/PTA); EDAD = Edad al momento de la medición; EDADP = Edad al parto que se considera.
N = Número de observaciones; X = media; S = Desviación estándar.

A = Año

Corresponde al año de parición. Se tienen partos desde el 1 de enero de 1988 hasta el 29 de marzo de 1990 y, en consecuencia tres años de parición con doce meses para el primero (1988, $n = 357$), doce para el segundo (1989, $n = 591$) y sólo tres meses para el último (1990, $n = 91$) (Cuadro 1).

ES = Estación

Se refiere a una de cuatro épocas de parición desde enero de 1988 a marzo de 1990, que incluyeron a enero, febrero y marzo como invierno (1, $n = 297$), abril, mayo y junio como primavera (2, $n = 236$), julio, agosto y septiembre como verano (3, $n = 261$), y octubre, noviembre y diciembre como otoño (4, $n = 245$) (Cuadro 1).

Criterios de inclusión y de exclusión

El análisis incluye a todas las lactancias, excepto aquellas truncadas por un aborto o un parto prematuro (gestación menor a 266 días). No se consideran, para efectos de extensión lactacional, los registros quincenales posteriores a un proceso patológico plenamente identificado. Con

Cuadro 3
PROMEDIOS Y DESVIACIONES ESTANDAR DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS POR HATO

Variable	Hato 1			Hato 2		
	N	X	S	N	X	S
PTA	751	193.3	9.91	40	194.1	8.93
PL	741	6312.0	1105.58	38	6587.2	1463.01
PEM	734	7194.1	1362.10	38	7443.8	1447.32
ELAAJ	741	32.7	5.68	38	33.9	7.01
ELAEM	734	37.4	7.54	38	38.4	7.17
EDAD	43	44.2	20.94	40	50.3	19.90
EDADP	43	41.7	20.78	40	46.1	19.27
NP	51	2.1	1.46	40	2.6	1.65

Variable	Hato 3			General		
	N	X	S	N	X	S
PTA	27	198.3	8.58	818	193.5	9.86
PL	23	6145.9	1169.22	802	6320.3	1126.93
PEM	23	6639.6	1231.50	795	7190.0	1365.39
ELAAJ	23	31.1	6.34	802	32.7	5.77
ELAEM	23	33.6	6.91	795	37.3	7.53
EDAD	27	69.6	24.04	810	45.4	21.49
EDADP	27	64.2	23.79	810	42.7	21.19
NP	27	3.9	1.79	818	2.2	1.51

PTA = Perímetro torácico ajustado al parto; PL = Producción de leche ajustada a 305 días; PEM = Producción de leche ajustada 305 días y equivalente maduro; ELAAJ = Eficiencia lechera (PL/PTA); ELAEM = Eficiencia lechera (PEM/PTA); EDAD = Edad al momento de la medición; EDADP = Edad al parto que se considera.
NP = Número de parto; N = Número de observaciones; X = media; S = Desviación estándar.

Cuadro 4

REGRESIONES PARCIALES DE LA PRODUCCION AJUSTADA A 305 DIAS (PL) SOBRE EL PERIMETRO TORACICO AJUSTADO AL PARTO (PTA), EDAD AL PARTO (EDADP) Y NUMERO DE PARTO (NP) *

Var. Dep.	N		Estimador	Error estándar	Pr > T	R ²
PTA	802	L	21.7960	4.113	0.0001	0.046
EDADP	795	L	1.0769	0.260	0.0001	
		C	-0.0002	0.000	0.0001	0.054
NP	802	L	386.5205	88.746	0.0001	
		C	-36.7671	12.339	0.0030	0.052

* Por cm en PTA; Por día en EDADP; Por parto en NP; L: Componente lineal; C: Componente cuadrático.

Cuadro 5

REGRESIONES PARCIALES DE LA EFICIENCIA (ELAAJ) SOBRE EL PERIMETRO TORACICO AJUSTADO AL PARTO (PTA), EDAD AL PARTO (EDADP) Y NUMERO DE PARTO (NP) *

Var. Dep.	N		Estimador	Error estándar	Pr > T	R ²
PTA	802	L	-.0547432	.0212311	0.0101	0.03
EDADP	795	L	.0008221	.0013552	0.5442	
		C	.0000002	.0000003	0.5826	0.02
NP	802	L	.3741184	.4612820	0.4176	
		C	-.0440680	.0641373	0.4922	0.02

* Por cm en PTA; por día en EDADP; por parto en NP; PL: Producción de leche ajustada a 305 días; ELAAJ = PL/PTA; L: Componente lineal; C: Componente cuadrático.

esta idea se revisaron las causas de discrepancias importantes en los valores de dichos registros. El porcentaje de registros eliminados bajo este criterio fue del 2.8%, siendo la mastitis la causa más frecuente, seguida de afecciones reproductivas, cetosis y gabarro.

Metodología estadística

En virtud de que la característica considerada como eficiencia corresponde al cociente de la producción de leche sobre el PTA, se realizó la prueba de bondad de ajuste de Lilliefors²¹ para normalidad; este procedimiento también se realizó para probar la normalidad de los residuos de los modelos lineales utilizados.

Se estimaron las regresiones parciales de PL y ELAAJ sobre el PTA, edad y número de parto, utilizando el modelo 1 con el empleo de la metodología de mínimos cuadrados con el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS⁴⁰ y se comparó la efectividad de dichos modelos a partir del coeficiente de determinación (R²), además de un análisis de los residuos y del contraste de los cuadrados medios de los errores de los mismos, utilizando una prueba F de Fisher, si bien esta comparación no se trata de una F formal por no producir una F necesariamente central al no existir una estructura de anidamiento completo de tales modelos. No se incluyeron interacciones dado que una exploración previa reveló la no significancia de las mismas (P > 0.25). Este modelo se utilizó también para comparar ELAAJ de las vacas en crecimiento y desarrollo en cuanto a edad y número de parto se refiere. Dicho modelo es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = M + A_i + H_j + ES_k + B_1(X_{ijkl} - \bar{X}) + B_2(X_{ijkl} - \bar{X})^2 + E_{ijkl} \quad (1)$$

donde:

Y_{ijkl} = PL o ELAAJ (según el caso)

M = Media general

A_i = i-ésimo efecto de año (i = 1, 2, 3)

H_j = j-ésimo efecto de hato (j = 1, 2, 3)

ES_k = k-ésimo efecto de estación de parición (k = 1,...,4)
 B_1 y B_2 son los coeficientes de regresión asociados al efecto lineal y cuadrático, respectivamente, del perímetro torácico ajustado, edad al parto o número de parto (según el caso); y

E_{ijkl} = error aleatorio $\cap$ NID (0, σ^2)

A partir del mejor de dichos modelos (basados nuevamente en el R² de un análisis de los residuos y en el contraste de los cuadrados medios de los errores de los mismos, utilizando nuevamente una prueba F de Fisher) pero incluyendo entonces el efecto aleatorio de semental (modelo 2), se estimó la heredabilidad de las características ELAAJ y PL y las correlaciones fenotípicas y genéticas existentes entre ellas a partir de la información de grupos de medias hermanas paternas (suponiendo la no existencia de hermanas completas). Se utilizó como metodología para la estimación de componentes de varianza y covarianza el empleo de máxima verosimilitud restringida (MVR), utilizando el procedimiento VARCOMP de SAS.⁴⁰ Se utilizó MVR en lugar de métodos de mínimos cuadrados⁴⁶ por sus propiedades estadísticas.^{27,30} Dicho modelo se utilizó además para estimar la heredabilidad de PEM y ELAEM, así como su correlación genética. Sin embargo, dado que en este caso no se incluyeron en el modelo los coeficientes de regresión parciales de PTA, edad al parto ni número de parto, se empleó llevando a cabo sólo la corrección de los registros propuesta por McDowell *et al.*²⁶ El modelo resultante es un modelo mixto y es el siguiente:

$$Y_{ijklm} = M + A_i + H_j + ES_k + S_l + E_{ijklm} \quad (2)$$

donde se eliminan covariables y se añade al modelo 1 S_l = l-ésimo efecto aleatorio de semental (l = 1,...,98) y $S_l \cap$ NID (0, σ_s^2)

El modelo 1 se utilizó también para determinar la influencia del PTA sobre PL y ELAAJ, dentro de parto.

El modelo 3 se utilizó para estimar la heredabilidad del PTA, empleando el método señalado para el modelo

Cuadro 6

REGRESIONES PARCIALES DE LA PRODUCCION AJUSTADA A 305 DIAS (PL) SOBRE EL PERIMETRO TORACICO AJUSTADO (PTA) POR NUMERO DE PARTO (NP)*

N	NP		Estimador	Error estándar	Pr > T	R ²
370	1	L	15.642	7.370	0.0345	0.012
193	2	L	-14.602	10.883	0.1814	0.008
102	3	L	21.241	16.717	0.2070	0.013
69	4	L	15.268	17.616	0.3896	0.011
68	>5	L	27.848	19.521	0.1589	0.029

* Por cm; L: Componente lineal

Cuadro 7

REGRESIONES PARCIALES DE EFICIENCIA (ELAAJ) SOBRE EL PERIMETRO TORACICO AJUSTADO AL PARTO (PTA) POR NUMERO DE PARTO (NP)*

N	NP		Estimador	Error estándar	Pr > T	R ²
370	1	L	-.0868	.0396	0.0290	0.0125
193	2	L	-.2422	.0556	0.0001	0.0835
102	3	L	-.0485	.0827	0.5586	0.0029
69	4	L	-.0863	.0868	0.3243	0.0105
68	>5	L	-.0219	.0961	0.8205	0.0008

* Por cm; L: Componente lineal

PL = Producción de leche ajustada a 305 días;

ELAAJ = PL/PTA

2. No se incluye el efecto de hato ni interacciones dado que una exploración previa reveló la no significancia de tales efectos:

$$Y_{ijk} = M + NP_i + ES_j + S_k + E_{ijk} \quad (3)$$

donde:

Y_{ijk} = PTA

M = Media general

NP_i = i-ésimo efecto de número de parto ($i = 1, \dots, 5$)

ES_j = j-ésimo efecto de estación de parición ($j = 1, \dots, 4$)

S_k = k-ésimo efecto aleatorio de semental ($k = 1, \dots, 98$) y $S_k \cap \text{NID}(0, \sigma_s^2)$ y

E_{ijk} = error aleatorio $\cap \text{NID}(0, \sigma^2)$

Con el fin de estimar las correlaciones genéticas entre PTA y el resto de las características en virtud de contar el modelo de PTA con un término adicional (número de parto) comparado con los de producción y eficiencia, se empleó un modelo más simple, exclusivamente aleatorio (modelo 4), basando su solución en la misma metodología. Dicho modelo es el siguiente:

Cuadro 8

REGRESIONES PARCIALES DE LA PRODUCCION AJUSTADA A 305 DIAS (PL) SOBRE LA EDAD AL PARTO (EDADP) POR NUMERO DE PARTO (NP)*

N	NP		Estimador	Error estándar	Pr > T	R ²
365	1	L	-8.5695	5.9511	0.1507	
		C	0.0052	0.0033	0.1137	0.0122
192	2	L	-3.7256	4.3195	0.3895	
		C	0.0011	0.0015	0.4650	0.0062
102	3	L	-5.4126	4.3631	0.2179	
		C	0.0018	0.0012	0.1283	0.0312
69	4	L	-3.2474	10.4582	0.7573	
		C	0.0010	0.0025	0.6814	0.0039
67	>5	L	6.3679	2.9588	0.0361	
		C	-0.0011	0.0005	0.0266	0.1374

* Por día; L: Componente lineal; C: Componente cuadrático

$$Y_{ij} = M + S_i + E_{ij} \quad (4)$$

donde:

Y_{ij} = Variable de interés

M = Media general

S_i = i-ésimo efecto aleatorio de semental ($i = 1, \dots, 98$); y

$S_i \cap \text{NID}(0, \sigma_s^2)$; y

E_{ij} = error aleatorio $\cap \text{NID}(0, \sigma^2)$

El error estándar de la heredabilidad para cada característica de interés se estimó a partir de la ecuación presentada y descrita por Villarreal⁴⁵ y el de los coeficientes de correlación genotípica entre las características de interés a partir de la presentada por Robertson.³⁹

Finalmente, para poder contrastar las medias de PTA, PEM y ELAAJ al considerar uno u otro esquema de selección, para los percentiles superior e inferior generados a partir de la normal estándar, y en virtud de que entre la población seleccionada por producción y la seleccionada

Cuadro 9

REGRESIONES PARCIALES DE EFICIENCIA (ELAAJ) SOBRE LA EDAD AL PARTO (EDADP) POR NUMERO DE PARTO (NP)*

N	NP		Estimador	Error estándar	Pr > T	R ²
365	1	L	-0.070140	0.0320	0.0290	
		C	0.000040	0.0000	0.0311	0.0251
192	2	L	-0.023200	0.0229	0.3126	
		C	0.000010	0.0000	0.4256	0.0080
102	3	L	-0.032380	0.0214	0.1345	
		C	0.000010	0.0000	0.0788	0.0427
69	4	L	0.011395	0.0519	0.8273	
		C	-0.000001	0.0000	0.8972	0.0010
67	>5	L	0.031699	0.0143	0.0308	
		C	-0.000006	0.0000	0.0229	0.1398

* Por día; L: Componente lineal; C: Componente cuadrático

PL = Producción de leche ajustada a 305 días;

PTA = Perímetro torácico ajustado al parto;

ELAAJ = PL/PTA

Cuadro 10

HEREDABILIDAD ESTIMADA DE LAS CARACTERÍSTICAS ESTUDIADAS*

Característica	N	h^2	Error estándar
PTA	784	0.25	0.105
PL	772	0.19	0.100
PEM	767	0.27	0.108
ELAAJ	772	0.28	0.109
ELAEM	767	0.64	0.138

Número de sementales = 98

N: Número de registros;

PTA = Perímetro torácico ajustado;

PL = Producción de leche ajustada a 305 días;

PEM = Producción de leche ajustada a 305 días y equivalente maduro; ELAAJ = Eficiencia basada en PL; ELAEM = Eficiencia basada en PEM

mediante la eficiencia existe un traslape importante, se procedió a realizar la estimación de los intervalos de confianza al 95% de las medias para las vacas seleccionadas por: a) eficiencia o ineficiencia; b) producción o improducción; c) sólo eficiencia o ineficiencia; d) sólo producción o improducción; e) ambos criterios; y f) ninguno.

Resultados

La estadística descriptiva de las variables estudiadas se presenta en los Cuadros 2 y 3.

La prueba de Lilliefors²¹ permitió comprobar que ELAAJ en particular, y en general los residuos de los modelos utilizados, pueden modelarse a partir de la distribución normal ($P < 0.05$).

Las regresiones parciales de la PL y ELAAJ sobre el PTA, edad al parto y número de parto se presentan en los Cuadros 4 y 5. Las regresiones parciales de PL y ELAAJ sobre el PTA por número de parto se presentan en los Cuadros 6 y 7, mientras que las de PL y ELAAJ sobre la edad al parto por número de parto se presentan en los Cuadros 8 y 9.

Las heredabilidades estimadas de las características de interés se presentan en el Cuadro 10 y las correlaciones fenotípicas y genéticas entre las características estudiadas se presentan en el Cuadro 11.

En el Cuadro 12 se presenta la estadística descriptiva de las características PEM, ELAAJ y PTA del decil superior para los grupos seleccionados por eficiencia, producción, ambas características y no seleccionados. En el Cuadro 13 se presenta la estadística descriptiva de las características PEM, ELAAJ y PTA del decil superior para los grupos seleccionados por ineficiencia, improducción, ambas características y no seleccionados.

Los Cuadros 14 y 15 presentan los intervalos de confianza al 95% de las medias de PEM, ELAAJ y PTA de los grupos seleccionados por: a) eficiencia o ineficiencia; b) producción o improducción; c) sólo eficiencia o ineficiencia;

Cuadro 11
CORRELACIONES GENÉTICAS Y FENOTÍPICAS ENTRE LAS VARIABLES ESTUDIADAS*

	PTA	PL	ELAAJ	PEM
PTA	-	0.27 (0.397)	-0.50 (0.029)	NE
PL	0.17 (0.035)	-	0.67 (0.196)	NE
ELAAJ	-0.11 (0.035)	0.96 (0.035)	-	0.86 (0.100)
PEM	NE	NE	0.94 (0.040)	-

Correlaciones genéticas sobre la diagonal y fenotípicas bajo la diagonal.

N = 802 (Número de registros); PTA = Perímetro torácico ajustado; PL = Producción de leche ajustada 305 días; ELAAJ = Eficiencia basada en PL; NE = No estimada.

El valor entre paréntesis corresponde al error estándar.

d) sólo producción o improducción; e) ambos criterios; y f) ninguno, considerando los percentiles 10 superior e inferior para las vacas de primer parto y en general, respectivamente.

Discusión

La opinión de Hickman y Bowden¹⁷ de que desde un punto de vista práctico resulta difícil conocer por adelantado qué características físicas del ganado lechero son importantes y cómo deben modificarse para aumentar la productividad con el fin de conocer los principales componentes de la productividad, puede ser más importante para decidir los sistemas de manejo y alimentación que para establecer criterios de selección, parece soslayar la relevancia del impacto conseguido por el mejoramiento genético. Puede considerarse que una de esas características físicas es el tamaño corporal por su relación, tanto con el proceso de producción, como con la eficiencia del mismo. Desde esta perspectiva, resulta de interés conocer la importancia del tamaño corporal, medido a partir del PTA, sobre la producción y, fundamentalmente, sobre la eficiencia del proceso de producción de leche, sea que se mida de manera directa o indirecta.

Regresiones parciales

La primera parte de este estudio comprendió la estimación de las regresiones parciales de PL y ELAAJ sobre el PTA, la edad al parto y el número de parto, lo que permitió además probar la hipótesis relativa de que la eficiencia se asocia negativamente al valor de PTA.

Como puede apreciarse en el Cuadro 4, tanto el PTA como la edad y el número de parto presentan una contri-

Cuadro 12
PERIMETRO TORACICO AJUSTADO, PRODUCCION DE LECHE AJUSTADA A 305 DIAS Y EQUIVALENTE MADURO
Y EFICIENCIA LECHERA AJUSTADA A 305 DIAS POR NUMERO DE PARTO PARA LOS GRUPOS SELECCIONADOS
EN EL 10 PORCIENTO SUPERIOR*

NP	Gpo	N	%	PTA ^a	PEM ^a	ELAAJ ^a
1	No	319	86.2	186.8 ± 7.3	6887 ± 1350	31.2 ± 4.3
	Am	28	7.6	183.6 ± 4.7	9924 ± 760	42.9 ± 3.0
	Pr	13	3.5	191.9 ± 7.5	9388 ± 340	38.4 ± 1.1
	Ef	10	2.7	182.2 ± 6.0	8631 ± 267	40.9 ± 1.6
2	No	171	88.6	196.9 ± 7.6	6982 ± 1170	31.7 ± 5.1
	Am	16	8.3	194.5 ± 7.3	10182 ± 876	45.1 ± 3.0
	Pr	2	1.0	203.5 ± 5.0	9827 ± 539	39.3 ± 1.1
	Ef	4	2.1	190.4 ± 6.3	8974 ± 74	42.7 ± 1.6
3	No	89	87.3	200.8 ± 7.7	6582 ± 1144	30.9 ± 5.2
	Am	10	9.8	199.3 ± 5.5	9648 ± 491	44.6 ± 1.9
	Pr	0	0.0			
	Ef	3	2.9	201.9 ± 9.6	8665 ± 143	42.6 ± 0.4
4	No	64	92.8	200.6 ± 7.5	6435 ± 862	31.2 ± 4.2
	Am	4	5.8	205.6 ± 3.4	8591 ± 852	41.8 ± 2.4
	Pr	0	0.0			
	Ef	1	1.4	191.7 ± 0.0	8022 ± 0	39.5 ± 0
5 o +	No	56	82.4	203.1 ± 7.6	6544 ± 776	31.3 ± 3.8
	Am	7	10.3	203.3 ± 4.7	9005 ± 472	43.3 ± 2.4
	Pr	3	4.4	207.5 ± 3.4	8607 ± 87	38.4 ± 1.1
	Ef	2	2.9	200.3 ± 5.6	8083 ± 356	40.5 ± 0.4

* El criterio de selección es la pertenencia al 10% superior en una, otra, ambas o ninguna de las características PL y ELAAJ.

^a Es el promedio y desviación estándar.

PTA = Perímetro torácico ajustado al parto; PL = Producción de leche ajustada a 305 días; PEM = Producción de leche ajustada a 305 días y equivalente maduro; ELAAJ = Eficiencia (PL/PTA); No: no seleccionados; Am: seleccionados por ambos criterios; Ef: seleccionados por eficiencia; Pr: seleccionados por producción.

bución más bien pequeña a la variación de PL. De hecho, al comparar los modelos para conocer cuál de las variables tiene mayor influencia sobre la producción a partir de contrastar los CME correspondientes, no se encontraron diferencias significativas entre los mismos ($P > 0.05$) a diferencia de los hallazgos de Clark y Touchberry.⁹ En este sentido, el único criterio que prevaleció en la comparación fue el valor del coeficiente de determinación del modelo completo en cada caso. Visto de esta manera, la contribución mayor fue la de la edad, seguida del número de parto y del PTA.

Es importante resaltar que en los modelos que contemplaron edad o número de parto, los que mejor ajustaron incluyeron tanto su efecto lineal como cuadrático, a diferencia del modelo que contempló al PTA, donde el que mejor ajustó fue aquel que incluyó sólo su componente lineal. Por tal razón fue factible evaluar desde el punto de vista de cálculo a los dos primeros y se encontró que el valor máximo de PL se alcanzó a los 83.28 meses y a los 5.26 partos ($P < 0.05$). Estos resultados coinciden con el equivalente maduro (EM) de la raza⁴¹ y con lo señalado por Clark y Touchberry.⁹ El valor encontrado de 5.26 partos para PL

es exactamente el mismo que se obtiene si se evalúa la ecuación cuadrática estimada por Castro *et al.*⁸ Los coeficientes de regresión parciales se presentan en el Cuadro 4.

De manera análoga, puede apreciarse en el Cuadro 5 que tanto el PTA como la edad y el número de parto presentan una contribución más bien pequeña a la variación de ELAAJ. En este caso al comparar los modelos para conocer cuál de las variables tiene mayor influencia sobre ELAAJ a partir de contrastar los CME correspondientes, no se encontraron diferencias significativas entre los mismos ($P > 0.05$). El único criterio que prevaleció en la comparación fue el valor del coeficiente de determinación del modelo completo en cada caso, si bien es un hecho que en todos los casos fue bastante bajo. Desde esta óptica, la mayor contribución para ELAAJ fue el PTA, seguido del número de parto y de la edad, pero sólo resultó significativo el PTA con un coeficiente de determinación muy pequeño ($R^2 = 0.03$).

Al igual que en los modelos para PL, en los que contemplaron a la edad o al número de parto los que mejor ajustaron, incluyeron tanto su efecto lineal como cuadrático, a diferencia del modelo donde se consideró al PTA, donde

Cuadro 13
PERIMETRO TORACICO AJUSTADO, PRODUCCION DE LECHE AJUSTADA A 305 DIAS Y EQUIVALENTE MADURO
Y EFICIENCIA LECHERA AJUSTADA A 305 DIAS POR NUMERO DE PARTO PARA LOS GRUPOS SELECCIONADOS
EN EL 10 PORCIENTO INFERIOR*

NP	Gpo	N	%	PTA ^a	PEM ^a	ELAAJ ^b
1	No	326	88.1	186.8 ± 7.1	7603 ± 1176	33.7 ± 4.7
	Am	28	7.6	185.2 ± 7.3	5040 ± 379	22.8 ± 2.0
	Im	7	1.9	189.7 ± 6.0	5482 ± 195	31.3 ± 4.2
	In	9	2.4	190.0 ± 13.2	5840 ± 184	24.7 ± 0.7
2	No	172	89.1	196.1 ± 7.4	7600 ± 1277	34.4 ± 5.4
	Am	16	8.3	200.1 ± 8.3	4700 ± 604	22.0 ± 2.0
	Im	2	1.0	195.1 ± 0.4	5314 ± 75	25.5 ± 0.4
	In	3	1.6	206.1 ± 2.9	5647 ± 59	24.1 ± 0.9
3	No	90	88.2	200.7 ± 7.6	7235 ± 1277	33.9 ± 5.8
	Am	9	8.8	202.4 ± 7.1	4632 ± 238	21.6 ± 1.6
	Im	2	2.0	194.1 ± 1.2	5072 ± 7	24.6 ± 0.2
	In	1	1.0	198.5 ± 0	5269 ± 0	23.9 ± 0.0
4	No	62	89.9	200.6 ± 7.5	6782 ± 843	32.9 ± 4.1
	Am	6	8.7	203.8 ± 6.5	4738 ± 360	23.0 ± 1.9
	Im	1	1.4	191.1 ± 0.0	5260 ± 0.0	27.3 ± 1.2
	In	0	0.0			
5	No	62	92.5	203.7 ± 7.3	7077 ± 1044	33.8 ± 5.0
	Am	4	6.0	199.5 ± 4.6	5061 ± 430	24.3 ± 1.4
	Im	0	0.0			
	In	1	1.5	201.2 ± 0.0	5916 ± 0.0	25.1 ± 0.0

* El criterio de selección es la pertenencia al 10% inferior en una, otra, ambas o ninguna de las características PL y ELAAJ.

^a El grupo NP = 5 representa a las vacas de 5 o más partos.

PTA = Perímetro torácico ajustado al parto ; PL = Producción de leche ajustada a 305 días; PEM = Producción de leche ajustada a 305 días y equivalente maduro; ELAAJ = Eficiencia (PL/PTA) ; No: no seleccionados; Am: seleccionados por ambos criterios; In: seleccionados por Ineficiencia; Im: seleccionados por Improducción.

el que mejor ajustó fue aquel que incluyó sólo su componente lineal. Por tal motivo fue posible evaluar desde el punto de vista del cálculo a los dos primeros y se encontró que la máxima ELAAJ se alcanzó a los 67.39 meses y a los 4.25 partos, estas cifras coincidieron con el EM de la raza. Los coeficientes de regresión parciales se presentan en el Cuadro 5 para las vacas en general, y en el análisis dentro de parto en el Cuadro 7 para PTA (sólo componente lineal) y en el Cuadro 9 (componente lineal y cuadrático) para edad al parto, destacando que no existen antecedentes en la literatura para su comparación. Es de resaltar que dicho coeficiente es negativo en ELAAJ, lo que revela que la eficiencia del proceso es mejor en las vacas con PTA menor. Algo similar se presenta al considerar la edad y el número de parto, ya que el coeficiente de regresión parcial es positivo en su componente lineal y negativo en el cuadrático. Al evaluar dichas ecuaciones se pudo confirmar que ELAAJ es inferior en las vacas de primer y segundo parto por tratarse de animales que aún no terminan su desarrollo, esto es, cuya tasa de crecimiento es mayor que su tasa de producción, pero no sólo eso sino que dicha eficiencia se reduce nuevamente en las vacas a partir del

sexto parto, aparentemente porque la producción de leche sufre una ligera declinación asociada a la edad (envejecimiento) mientras que el tamaño (PTA) no presenta cambios en dichos animales; lo anterior se reforzó al evaluarse la ecuación con respecto a edad donde se apreció que el valor de ELAAJ fue óptimo alrededor de los 67 meses.

Un hecho importante es que mientras el máximo valor de PL se alcanzó a los 83.28 meses, el de ELAAJ ocurrió a los 67.39 meses, lo que deja de manifiesto que si bien el valor de PL continuó aumentando después de los 67 meses, el PTA aumentó más, reduciendo la eficiencia del proceso total.

Debe mencionarse, no obstante, que al revisar los resultados anteriores pudo notarse que el PTA se encontraba confundido con la edad y, fundamentalmente, con el número de parto. Esta fue la razón que condujo a realizar nuevamente el análisis pero por número de parto (Cuadros 6 al 9).

Al estudiar dichos modelos sólo resultaron significativos la producción sobre el PTA en las de primer parto (Cuadro 6) y, a diferencia de lo planteado por algunos autores,^{9,19,28} no se apreció un efecto cuadrático para PTA ni para edad en este grupo de vacas. Al realizar la regresión de PL sobre

Cuadro 14
INTERVALOS DE CONFIANZA AL 95% DE LAS MEDIAS
DE PTA, ELAAJ Y PEM DE LOS GRUPOS SELECCIONADOS
PARA LOS PORCENTILES 10 SUPERIOR E INFERIOR
EN LAS VACAS DE PRIMER PARTO

Gpo	N	PTA	ELAAJ	PEM
a				
No	319	186.8 ± 0.8	31.2 ± 0.5	6887 ± 148
Am	28	183.6 ± 1.7	42.9 ± 1.1	9924 ± 282
Spr	13	191.9 ± 4.1	38.4 ± 0.6	9388 ± 185
Sef	10	182.2 ± 3.7	40.9 ± 1.0	8631 ± 165
Ef	38	183.2 ± 1.6	42.4 ± 0.9	9584 ± 279
Pr	41	186.2 ± 2.1	41.5 ± 1.0	9754 ± 214
b				
No	326	186.6 ± 0.8	33.7 ± 0.5	7603 ± 128
Am	28	185.2 ± 2.7	22.8 ± 0.7	5040 ± 140
Sim	7	189.7 ± 4.4	31.3 ± 3.1	5482 ± 145
Sin	9	190.0 ± 8.6	24.7 ± 0.5	5840 ± 120
Im	35	186.1 ± 2.4	24.5 ± 1.4	5069 ± 127
In	37	186.4 ± 2.9	23.3 ± 0.6	5234 ± 157

a: 10% superior; b: 10% inferior

PTA = Perímetro torácico ajustado al parto; PL = Producción de leche ajustada a 305 días; PEM = producción de leche ajustada a 305 días y equivalente maduro; ELAAJ = PL/PTA; No: no seleccionados; Am: seleccionados por ambos criterios; Spr: seleccionados sólo por producción; Sef: seleccionados sólo por eficiencia; Ef: seleccionados por eficiencia; Pr: seleccionados por producción; Sim: seleccionados sólo por improducción; Sin: seleccionados sólo por ineficiencia; In: seleccionados por ineficiencia; Im: seleccionados por improducción.

Cuadro 15
INTERVALOS DE CONFIANZA AL 95% DE LAS MEDIAS
DE PTA, ELAAJ Y PEM DE LOS GRUPOS SELECCIONADOS
PARA LOS PORCENTILES 10 SUPERIOR E INFERIOR
EN LAS VACAS EN GENERAL

Gpo	N	PTA	ELAAJ	PEM
a				
No	693	193.8 ± 0.7	31.2 ± 0.3	6825 ± 78
Am	60	191.8 ± 2.4	44.1 ± 0.7	9870 ± 195
Spr	30	190.2 ± 3.4	38.7 ± 0.4	9276 ± 121
Sef	19	192.5 ± 4.5	41.3 ± 0.6	8611 ± 114
Ef	79	192.0 ± 2.1	43.4 ± 0.6	9567 ± 192
Pr	90	191.3 ± 1.9	42.3 ± 0.7	9671 ± 147
b				
No	706	193.2 ± 0.7	33.9 ± 0.4	7456 ± 88
Am	65	195.7 ± 2.5	22.6 ± 0.5	4861 ± 104
Sim	14	191.2 ± 3.3	29.7 ± 2.1	5338 ± 34
Sin	17	196.6 ± 6.7	24.4 ± 0.3	5775 ± 141
In	82	195.9 ± 2.4	23.0 ± 0.4	5053 ± 120
Im	79	194.9 ± 2.2	23.9 ± 0.8	4914 ± 95

a: 10% superior; b: 10% inferior

PTA = Perímetro torácico ajustado al parto; PL = Producción de leche ajustada a 305 días; PEM = Producción de leche ajustada a 305 días y equivalente maduro; ELAAJ = PL/PTA; No: no seleccionados; Am: seleccionados por ambos criterios; Spr: seleccionados sólo por producción; Sef: seleccionados sólo por eficiencia; Ef: seleccionados por eficiencia; Pr: seleccionados por producción; Sim: seleccionados sólo por improducción; Sin: seleccionados sólo por ineficiencia; In: seleccionados por ineficiencia; Im: seleccionados por improducción.

la edad, resultó significativo sólo en las vacas de cinco o más partos (Cuadro 8).

De manera análoga, al analizar dichos modelos sólo resultaron significativos al evaluar ELAAJ en las de primer y segundo parto sobre el PTA (Cuadro 7). En todos los casos el coeficiente de regresión parcial resultó negativo, lo que confirmó el hecho (dentro de número de parto) de que las vacas con perímetros torácicos ajustados mayores son menos eficientes. Al estudiar ELAAJ sobre la edad resultó significativo sólo en las vacas de primer parto y en las de cinco o más partos (Cuadro 9).

La presencia de un coeficiente de regresión parcial lineal negativo más bien grande y uno cuadrático positivo muy pequeño en las vacas de primer a cuarto partos (Cuadro 8) reveló que las producciones máximas se presentaron en las vacas más jóvenes dentro de parto; estos coeficientes invierten sus signos en las vacas de 5 o más partos y presentan óptimos de producción a los 94.05 meses de edad al parto para PL.

En los análisis para evaluar ELAAJ sobre la edad dentro de número de parto, se presentaron coeficientes más bien pequeños con el lineal negativo y el cuadrático positivo que al evaluarse dan la eficiencia máxima cuando la edad dentro de parto es mayor en las vacas de primer parto (Cuadro 9). En las vacas de cinco o más partos el

coeficiente lineal es positivo y el cuadrático es negativo pero pequeño y al evaluarse se encontró la edad óptima en 86.61 meses de edad al parto para ELAAJ, para ese grupo de vacas, lo que representa que dentro de dicho grupo son más eficientes las vacas jóvenes, ya que su media para ELAAJ se estimó en 91.95 meses.

Conviene destacar que en todos los casos en el análisis dentro de parto, la contribución a la variación, tanto sobre PL como sobre ELAAJ, continuó siendo pequeña. La no significancia observada en algunos partos pudiera atribuirse tanto a su efecto más bien pequeño como a un tamaño de muestra reducido ($n = 98, 67, 35, 26$ y 24 , para las vacas de primer, segundo, tercero, cuarto y quinto o más partos, respectivamente).

La mayoría de las regresiones parciales de producción sobre peso y edad notificadas en la literatura provienen de vacas de primer parto y no existen referencias de regresiones de producción sobre el perímetro torácico, si bien es frecuente que en las que mencionan los pesos corporales, éstos sean en realidad estimados a partir del perímetro torácico. Ridler *et al.*,³⁸ por ejemplo, estimaron la regresión parcial de la producción láctea a duración de lactación constante sobre el peso inicial posparto, en 530 kg LCG/100 kg de peso vivo, Miller y McGilliard²⁸ en 200 kg/100 kg de peso vivo, Clark y Touchberry⁹ de 134 kg/

100 kg de peso vivo, en estos tres casos en vacas de primer parto, Harville y Henderson¹⁶ en 342 kg/100 kg de peso vivo, pero en este caso se trata de la producción de leche a E.M sobre el peso a edad constante, y de 30.5 kg/mes de edad. Por último, Miller y McGilliard²⁸ estimaron la regresión de la producción de leche sobre edad cercana a 34 kg/mes de edad en vacas de primer parto.

En este estudio, las regresiones parciales de PL sobre PTA significativas fueron de 21.80 kg/cm para las vacas en general ($P < 0.01$); y dentro de parto, sólo resultó significativa ($P < 0.05$) en 15.64 kg/cm para PL, para las vacas de primer parto.

Si se considera que dentro del rango de mediciones del perímetro torácico ajustado en el presente trabajo (169 a 229 cm) se tiene un promedio aproximado de 12.8 cm para cada 100 kg de peso vivo; es posible, entonces, transformar las regresiones parciales del PTA sobre producción láctea a peso vivo sobre dicha producción. Si se realiza lo anterior, se tendrá un resultado aproximado de 278.8 kg leche/100 kg de peso vivo para las vacas en general para PL y de 200.1 kg leche/100 kg de peso vivo para las vacas de primer parto para PL. Al observar los resultados considerando las vacas en general y la producción ajustada a 305 días (aunque en el presente caso sin corregir a EM) la regresión es ligeramente inferior a la encontrada por Harville y Henderson¹⁶ de 342 kg/100 kg de peso vivo). Sin embargo, la observada para la producción ajustada a 305 en vacas de primer parto es esencialmente la misma a la estimada por Miller y McGilliard²⁸ de 200 kg/100 kg de peso vivo. No está por demás comentar que en este último estudio el peso vivo se estimó a partir del perímetro torácico.

Los coeficientes de regresión parciales de PL sobre la edad al parto y número de parto (componentes lineal y cuadrático) para las vacas en general se presentan en el Cuadro 4. Los mismos coeficientes de regresión parciales de PL sobre la edad, pero en el análisis dentro de parto, se presentan en el Cuadro 8.

Es posible concluir que la influencia del perímetro torácico ajustado, la edad al parto y el número de parto sobre la producción y sobre ELA es pequeña y aproximadamente equivalente; que el valor de ELAAJ se asocia negativamente al perímetro torácico y es inferior en vacas de primer y segundo partos por tratarse de animales en los que la tasa de producción es menor a la de su crecimiento por no haber alcanzado su madurez fisiológica. Dada la relación funcional entre ELAAJ y edad al parto y entre ELAAJ y número de parto que presentó un componente cuadrático con un óptimo para los 67.39 meses y los 4.25 partos, respectivamente, los valores menores de ELA antes de ese momento pueden atribuirse a crecimiento y desarrollo y los posteriores a envejecimiento.

Heredabilidades

Se estimó la heredabilidad (h^2) de la característica PEM, para su comparación con valores encontrados en vacas

Holstein mexicanas en un valor de 0.27 ± 0.108 ($PEM = 7$ 190 kg). Este resultado es similar al encontrado por Castro *et al.*⁸ (0.24), Nuñez *et al.*³⁶ (0.26), Villarreal⁴⁵ (0.23) y Pérez³⁷ (0.28).

El modelo 2 empleado en la estimación de la heredabilidad de las características de PL y ELAAJ fue diferente al utilizado para PTA (modelo 3). Esta decisión se basó en el empleo de modelos que presentaran un mejor ajuste. La heredabilidad de las características estudiadas se presenta en el Cuadro 10. El valor estimado para ELAAJ fue muy similar al encontrado para PEM y para PL, con valores de $0.28 (\pm 0.1)$, $0.27 (\pm 0.1)$ y de $0.19 (\pm 0.1)$, respectivamente; lo que implica que en hatos con niveles de producción semejantes a los empleados en este estudio (cuya alimentación se maneja de acuerdo con el nivel de producción) pudiera ser factible su inclusión en los programas de selección. La heredabilidad de ELAEM se estimó en 0.64 ± 0.14 , y aun cuando se trata de un valor elevado debe tomarse con cautela ya que probablemente incluye una sobreestimación por el hecho de considerar la edad en el equivalente de madurez que se asocia fuertemente con el tamaño corporal medido como PTA.

Por otra parte, la heredabilidad estimada para PTA fue de $0.25 (\pm 0.11)$, resultado que es ligeramente inferior al valor notificado en la literatura que fluctúa entre 0.28 y 0.66 con un promedio de 0.44.^{17,19} Como referencia, el valor de heredabilidad para peso corporal al parto en la literatura ha sido estimado en 0.19 por Clark y Touchberry,⁹ 0.49 por Hooven *et al.*¹⁸ y en 0.22 por Hickman y Bowden.¹⁷

Puede concluirse que dado que la heredabilidad de la característica ELAAJ se estimó en 0.28 ± 0.11 (mientras que para PEM en 0.27 ± 0.11) es entonces susceptible de selección, lo que permite además esperar pequeñas ventajas teóricas (en términos de eficiencia) al incorporarla en los programas de selección.

Correlaciones fenotípicas y genéticas

La correlación fenotípica para PTA con PL (0.17 ± 0.04) resultó inferior al promedio de 0.33 entre peso u otra medición de tamaño corporal con producción notificado en la literatura⁷ pero igual a la encontrada por Harville y Henderson¹⁵ (0.17) entre la producción láctea a EM y el peso corporal ajustado en vacas Holstein, y muy similar a las estimadas por Badinga *et al.*¹ (0.22) entre perímetro torácico el día del parto y producción de leche, por Breitenstein y Nöring⁴ (0.13) entre perímetro torácico y producción en vacas maduras y por Miller y McGilliard²⁸ (0.23) también del perímetro torácico, dentro de los 30 primeros días posparto con producción.

La correlación genética entre PTA y PL se estimó en 0.27 ± 0.397 y su no significancia estadística estuvo probablemente relacionada con una estimación inapropiada de componentes de varianza y covarianza. Si bien no puede decirse entonces que dicha correlación es distinta de cero, tampoco debe soslayarse que de cualquier mane-

ra el resultado observado es muy similar al observado por Hooven *et al.*¹⁸ (0.28 y 0.30) y por Harville y Henderson¹⁶ (0.30) entre peso corporal y producción, e igual al encontrado por Miller y McGilliard²⁸ (0.26) entre el perímetro torácico dentro de los 30 primeros días posparto y producción, pero superior al promedio de 0.18 notificado en la literatura entre peso u otra medición de tamaño corporal y producción.³⁴

Las correlaciones fenotípica y genética existentes entre el PTA y ELAAJ resultaron negativas (Cuadro 11). La correlación fenotípica entre PTA y ELAAJ se estimó en -0.11 ± 0.04 mientras la correlación genética entre esas mismas características en -0.50 ± 0.03 . Esto revela que las vacas con perímetro torácico mayores son más ineficientes al considerar la lactancia en su totalidad. Debe destacarse que la correlación fenotípica observada entre PTA y ELAAJ es inferior al promedio de -0.22 descrito en la literatura^{7,34} entre eficiencia y peso u otra medición de tamaño corporal pero igualmente negativa. De la misma manera, la correlación genética observada entre PTA y ELAAJ resultó superior al promedio de -0.37 notificado en la literatura³⁴ entre peso u otra medición de tamaño corporal y eficiencia pero igualmente negativa.

Por otra parte, la correlación fenotípica estimada entre PL y ELAAJ (Cuadro 11) fue positiva y alta como era de esperarse (0.96 ± 0.04), esto confirma que las vacas altas productoras son a su vez más eficientes. En tal sentido, se puede apreciar que es un resultado superior al promedio de 0.74 encontrado en la literatura,⁷ pero el mismo al estimado por Syrstad⁴³ (0.95). Sin embargo, la correlación genética correspondiente (Cuadro 11) tuvo un resultado medio (0.67 ± 0.20) que resulta muy inferior al promedio de 0.91 obtenido en la literatura³⁴ y sólo un poco más próximo al estimado por Syrstad⁴³ (0.82), quien utilizó leche corregida para grasa en vacas de 4 años de edad y perímetro torácico como medida corporal.

Finalmente una correlación fenotípica y genética importante es la existente entre PEM y ELAAJ que se estimó en 0.94 ± 0.04 y 0.86 ± 0.10 , respectivamente (767 registros de producción de hijas de 98 sementales) lo que revela una asociación genética importante entre ambas mediciones.

Efecto del criterio de selección sobre el perímetro torácico y la producción de leche

El último punto en este estudio consistió en determinar el efecto que produciría sobre el PTA —como un indicador del tamaño corporal del ganado lechero—, así como sobre el nivel de producción de leche, al considerarse alternativamente la selección sobre la base de exclusivamente rendimiento lechero como se ha venido practicando, comparado con el criterio de selección basado en la eficiencia medida como ELAAJ. Tomando en cuenta este planteamiento surgió adicional y paralelamente la pregunta de si estas dos poblaciones difieren previamente en los valores de dichas variables.

En relación con la primera parte de este problema puede decirse que dada la correlación genética estimada en este estudio entre PTA y PL (0.27 ± 0.397), no es posible sugerir un cambio en el valor de PTA al seleccionar para PL. Sin embargo, los antecedentes en estudios previos³⁴ parecen indicar que la correlación es positiva y con un valor promedio de 0.18, lo que sugiere que seleccionar para producción produce un incremento paulatino, aunque muy reducido, en el tamaño corporal del ganado lechero. Contrariamente, y dada la correlación genética negativa entre PTA y ELAAJ estimada en este estudio (-0.50 ± 0.03), resulta evidente que la selección para ELAAJ produciría una reducción del PTA, y en virtud de que la correlación genética entre PL y ELAAJ es también positiva (0.67 ± 0.20), aunque no muy elevada, se produciría un incremento en la producción de leche, si bien menor al esperado sobre la base de seleccionar exclusivamente por el nivel de producción. Este mismo argumento puede utilizarse para indicar que la selección para producción conlleva un incremento en la eficiencia del proceso, aunque menor al esperado sobre la base de exclusivamente seleccionar para eficiencia medida como ELAAJ.

En relación a si las poblaciones seleccionadas difieren previamente, conviene hacer énfasis en que, como se puede apreciar en el Cuadro 12, existe un traslape muy importante que oscila entre 54.9% y 80.0% en el 10% superior. Esto deja de manifiesto que para que dichas poblaciones puedan diferir significativamente, es preciso que existan discrepancias importantes entre las vacas que pertenecen al grupo de sólo a altas productoras (pero que no se consideraron como eficientes) y las que pertenecen sólo al grupo de eficientes (pero que no se consideraron como altas productoras). En los Cuadros 14 y 15 es posible apreciar que los grupos de sólo eficiencia y sólo producción difieren en PTA, ELAAJ y PEM ($P < 0.05$) al considerar solamente las vacas de primer parto y en ELAAJ y PEM ($P < 0.05$) pero no en el PTA ($P > 0.05$) al considerar las vacas en general para el decil superior. Sin embargo, si se forman los dos grupos seleccionados en los que se incluye el traslape resulta difícil establecer comparaciones y es evidente que las discrepancias dependerán del impacto ocasionado por las vacas fuera del traslape. Al realizar lo anterior puede notarse que no persisten dichas diferencias en las vacas de primer parto ni en las vacas en general. De modo que pueda destacarse este resultado, debe comentarse que el valor de esas discrepancias en el PTA de las vacas de primer parto, aunque en términos de los valores centrales es de 73 kg de peso, corresponde en realidad aproximadamente a sólo 20.0 kg de peso vivo menos (si se toman en cuenta los valores extremos de los intervalos) para las vacas de primer parto. Así, por ejemplo, en un hato de 100 animales esta divergencia representa la posibilidad de alimentar alrededor de 4 vacas de primer parto más.

Con el objeto de conocer qué ocurre con los valores de PTA, PL, ELAAJ y PEM en las vacas con menor capacidad productiva (base PL) y menor eficiencia (base ELAAJ), se presentan análogamente los estimados para el grupo, 10%

inferior en el Cuadro 13, en donde puede apreciarse que existe también un importante traslape que va del 63.6% al 85.7%.

En los Cuadros 14 y 15 es posible notar que los grupos de sólo ineficiencia y sólo improducción no difieren en PTA ($P > 0.05$) pero sí en ELAAJ y PEM al considerar tanto a las vacas de primer parto como en general ($P < 0.05$). Sin embargo, si se forman los dos grupos seleccionados en los que se incluye el traslape, puede notarse que no persisten diferencias significativas ni en las vacas de primer parto ni en las vacas en general para ninguna de las variables por la magnitud del traslape.

En general, los resultados parecen confirmar el planteamiento de Clark y Touchberry⁹ en relación a que la selección para producción es injusta con las vacas pequeñas, quienes para permanecer en el hato deben ser más eficientes y en consecuencia tener producciones proporcionalmente superiores a las de las vacas de mayor tamaño.

Para concluir, es importante comentar que en virtud del gran traslape existente entre ambos criterios de selección, el impacto sobre la producción y tamaño al considerar ELAAJ sería más bien pequeño, si bien los autores se inclinan por el uso de un criterio que involucre la eficiencia, sea el planteado en este estudio (que tiene la ventaja de la simplicidad y facilidad de medición) o sea otro más preciso (medición directa y no indirecta) que pueda aplicarse, sobre todo en aquellos hatos donde resulte factible controlar el consumo de alimento, el peso vivo y el nivel de producción láctea a partir de sistemas de producción automatizados.

Dado que el valor promedio de producción de leche en los animales seleccionados, considerando el criterio de producción a equivalente maduro, no es significativamente mayor que el de los seleccionados sobre la base de tomar en cuenta como criterio de selección el valor de ELAAJ, la selección para eficiencia medida como ELAAJ tendría como resultado una leve disminución del tamaño corporal de las vacas medido a partir del PTA y no produciría aparentemente una disminución importante del nivel de producción de leche medido como PL, y posiblemente tampoco sobre PEM.

Además, en virtud de que el valor de ELAAJ es una medida muy simple y fácil de obtener, su inclusión en los programas de selección del ganado Holstein-Friesian presenta aparentemente ventajas teóricas, que aunque pequeñas, pudieran repercutir favorablemente en la economía de la empresa dedicada a la producción de leche.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al ingeniero Jesús Gutiérrez Aja por permitir la utilización de los registros productivos y reproductivos de su granja y a los médicos veterinarios zootecnistas: Roberto Magaña, Fernando Borderas, Eva Gómez-Tagle y Octavio Mejía por la invaluable ayuda en la captura de la información. Son invaluable también los comentarios y sugerencias de los revisores.

Literatura citada

1. Badinga, L., Collier, R.J., Wilcox, C.J. and Thatcher, W.W.: Interrelationships of milk yield, body weight, and reproductive performance. *J. Dairy Sci.*, 68: 1828-1831 (1985).
2. Bar-Anan, R. and Ron, M.: Genetic correlations among progeny groups for type traits, milk yield, yield persistency, and culling rates. *J. Dairy Sci.*, 66: 2438-2440 (1983).
3. Bereskin, B. and Touchberry, W.R.: Some relationships of body weight and age with first lactation yield. *J. Dairy Sci.*, 49: 869-873 (1966).
4. Breitenstein, K.G. und Nöring, L.: Untersuchungen über Beziehungen zwischen Körperformen und Leistungen beim Höhenfleckvieh. *Tierzucht*, 14: 397-400 (1960).
5. Brody, S.: Bioenergetics and Growth. *Reinhold Publishing Co.*, New York, New York, 1945.
6. Buttazzoni, L. and Mao, I.L.: Genetic parameters of estimated net energy efficiencies for milk production, maintenance, and body weight change in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 72: 671-677 (1989).
7. Castillo, J.H.: Análisis genético del cociente producción de leche/perímetro torácico como indicador de la eficiencia en bovinos Holstein Friesian. Tesis de maestría. *Fac. de Med. Vet. y Zoot.* Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., 1993.
8. Castro, G.H., Román, P.H. y Berruecos, V.J.M.: Estimación de parámetros genéticos en un hato de ganado Holstein estabulado en un clima subtropical Am c. *Téc. Pec. Méx.*, 20: 45 (1971).
9. Clark, R.D. and Touchberry, W.R.: Effect of body weight and age at calving on milk production in Holstein cattle. *J. Dairy Sci.*, 45: 1500-1510 (1962).
10. Davis, H.P., Morgan, R.F. and Gaines, W.L.: Liveweight and milk energy yield in the Nebraska Station Dairy Herd. *J. Dairy Sci.*, 26: 625-641 (1943).
11. Erb, R.E. and Ashworth, U.S.: Relationships between age, body weight, and yield of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 44: 515-523 (1961).
12. Farthing, B.R. and Legates, J.E.: Relation between weight and production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 41: 747-748 (1958).
13. Fisher, L.J., Hall, J.W. and Jones, S.E.: Weight and age at calving and weight change related to first lactation milk yield. *J. Dairy Sci.*, 66: 2167-2172 (1983).
14. Freeman, A.E.: Genetic aspects of the efficiency of nutrient utilization for milk production. *J. Anim. Sci.*, 26: 976-983 (1967).
15. Harville, D.A. and Henderson, C.R.: Interrelationships between body size and milk production. *J. Anim. Sci.*, 23: 849 (1964).
16. Harville, D.A. and Henderson, C.R.: Interrelationships among age, body weight and production traits during first lactation of dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 49: 1254-1261 (1966).
17. Hickman, C.G. and Bowden, D.M.: Correlated genetic responses of feed efficiency, growth, and body size in cattle selected for milk solids yield. *J. Dairy Sci.*, 54: 1848-1855 (1971).
18. Hooven Jr., N.W., Miller, R.H. and Plowman, R.D.: Genetic and environmental relationships among efficiency yield, consumption and weight of Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 51: 1409-1419 (1968).
19. Johansson, I.: The relation between body size, conformation and milk yield in dairy cattle. *Anim. Breed. Abstr.*, 32: 421-435 (1964).
20. Kennedy, B.W., Sola, G. and Moxley, J.E.: Correction factors for first, second and last test day milk yields. *Can. J. Anim. Sci.*, 58: 419-426 (1978).
21. Lilliefors, H.W.: On the Kolmogoroff-Smirnoff test for normality with mean and variance unknown. *J. Am. Stat. Ass.*, 64: 387-389 (1967).
22. Lin, C.Y., Batra, J.R., MacAllister, A.J., Darisse, J.P.F., Lee, A.J., Roy, G.L., Vesely, J.A. and Winter, K.A.: Relation of weight changes within and between lactation to milk yield. *Can. J. Anim. Sci.*, 61: 1096 (1981).

23. Lin, C.Y., McAllister, A.J. and Lee, A.J.: Multitrait estimation of relationships of first-lactation yields to body weight changes in Holstein heifers. *J. Dairy Sci.*, 68: 2954-2963 (1985).
24. Mason, I.L., Robertson, A. and Gjelstad, B.: The genetic connection between body size, milk production, and efficiency in dairy cattle. *J. Dairy Res.*, 24: 135-143 (1957).
25. McDaniel, B.T. and Legates, J.E.: Associations between body weight predicted from heart girth and production. *J. Dairy Sci.*, 48: 947-956 (1965).
26. McDowell, R.E., Camoens, J.K., St. Louis, D.G., Cabello, F.E. and Christansen, E.: Factors for Standardizing Lactation Records Made by Holstein-Friesians in Mexico for Age and Month of Calving. Mimeo. *Animal Science Department of Cornell University, N.Y., Asociación de Criadores de Holstein Friesian de México, Qro., México y el Departamento de Zootecnia del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey.* Monterrey, Nuevo León, México, 1975.
27. Méndez, R.I.: Modelos Mixtos y Aleatorios en el Diseño y Análisis de Experimentos. Comunicaciones Técnicas. Serie Azul. Vol. 4, No. 31. *Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 1981.
28. Miller, R.H. and McGilliard, L.D.: Relations between weight at first calving and milk production during the first lactation. *J. Dairy Sci.*, 42: 1932-1943 (1959).
29. Miller, R.H., Pearson, R.E., Fulton, L.A. and Weinland, B.T.: Comparison of single and multiple trait selected sires-response of heifer growth. *J. Dairy Sci.*, 66: 2563-2567 (1983).
30. Milliken, A.G. and Johnson, E.D.: Analysis of Messy Data in Designed Experiments. Vol. I. *Lifetime Learning Publications*, Belmont, California, 1984.
31. Moe, P.W.: Energy metabolism of dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 64: 1120-1139 (1981).
32. Moe, P.W., Tyrrell, H.F. and Flatt, W.P.: Energetics of body tissue mobilization. *J. Dairy Sci.*, 54: 548-553 (1971).
33. Moore, R.K., Kennedy, B.W., Schaeffer, L.R. and Moxley, J.E.: Relationships between age and body weight at calving and production in first lactation Ayrshires and Holsteins. *J. Dairy Sci.*, 74: 269-278 (1991).
34. Morris, C.A. and Wilton, J.W.: Influence of body size on the biological efficiency of cows. A review. *Can. J. Anim. Sci.*, 56: 613-647 (1976).
35. National Research Council: Nutrient Requirements of Dairy Cattle. *National Academy of Sciences*, Washington, D.C., 1990.
36. Núñez, D.R., Regalado, R. y Tewolde, A.: Evaluación genética de la producción de leche en un hato Holstein. *Prod. Anim. Trop.*, 8: 74 (1982).
37. Pérez, M.A.: Mejoramiento genético de un hato lechero en Mexicali, B.C., México. Tesis de maestría. *Depto. de Zoot. Universidad Autónoma de Chapingo*, Edo. de México, México, 1986.
38. Ridler, B., Broster, W.H. and Westgarth, D.R.: The influence of liveweight at calving on milk production in Friesian heifers. *J. Dairy Res.*, 32: 135-141 (1965).
39. Robertson, A.: The sampling variance of the genetic correlation coefficient. *Biometrics*, 15: 469-485 (1959).
40. SAS Institute Inc.: SAS/STAT Guide for Personal Computers, Version 6.03. *SAS Institute Inc.*, Cary, North Carolina, 1991.
41. Schmidt, G.H. y Vleck van, L.D.: Bases Científicas de la Producción Lechera. *Acribia*, Zaragoza, España, 1976.
42. Sieber, M., Freeman, A.E. and Kelley, D.H.: Relationships between body measurements, body weight, and productivity in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 71: 3437-3445 (1988).
43. Syrstad, O.: Studies on dairy herd records. IV Estimates of phenotypic and genetic parameters. *Acta agric. scand.*, 16: 79-96 (1966).
44. Trimberger, W.G.: Dairy Cattle Judging Techniques. 2nd ed. *Prentice Hall*, Englewood Cliffs, New Jersey, 1977.
45. Villarreal, M.: Analysis of the error variance-covariance matrix of first, second and third lactations in Mexican Holstein. Ph. D. thesis. *Michigan State University*, Lansing, Michigan, 1985.
46. Vleck van, D.: Summary of Methods for Estimating Genetic Parameters Using Simple Statistical Models. *Department of Animal Science, Cornell University*, Ithaca, New York, 1979 (mimeo).
47. Wallace, L.R.: Effect of size and yield on dairy cow efficiency. *N. Z. Dairy Exporter.*, 32: 12-17 (1956).
48. Wood, P.D.P., King, J.O.L. and Youdan, P.G.: Relationships between size, liveweight change and milk production characters in early lactation in dairy cattle. *Anim. Prod.*, 31: 143-151 (1980).