

AJUSTE DE MODELOS NO LINEALES PARA CARACTERIZAR EL CRECIMIENTO DE BOVINOS HEREFORD Y SALERS

Nonlinear Model Adjustment for the Characterization of Growth in Hereford and Salers Cattle

*Joel Domínguez-Viveros, Juan Ángel Ortega-Gutiérrez *, Felipe Alonso Rodríguez-Almeida, Nicolás Callejas-Juárez, Nelson Guadalupe Aguilar-Palma y Eduardo Santillán-Moreno*

*Facultad de Zootecnia y Ecología. Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada km 1. Chihuahua, Chihuahua, México. CP 31453. Tel: 6144341448. Fax: 6144340345. *jortega@uach.mx*

RESUMEN

Los criadores de bovinos Hereford (HER) y Salers (SAL) en México, realizan el destete y pesaje de becerros a edades diferentes; información que puede ser utilizada para analizar el crecimiento con modelos no lineales (MNL); siendo este el objetivo del presente estudio. En HER se analizaron 4.549 observaciones de 1.910 individuos nacidos de 2002 a 2011 en nueve hatos; en SAL se analizaron 14.468 observaciones de 6.219 individuos nacidos de 2000 a 2011 de doce hatos. Los MNL evaluados fueron: Brody (BRO), Logístico (LOG), Bertalanffy (BER) y Gompertz (GOM). Posteriormente se calculó: el peso adulto asintótico (PAD; kg); la tasa de crecimiento relativa (PCU; kg/kg/t); las correlaciones (Υ_{PP}) entre PAD y PCU; edad y peso al punto de inflexión (EPI, meses; PPI, kg), y el porcentaje de madurez a 205 (M205) y 365 (M365) días. Los análisis se realizaron con el procedimiento NLIN de SAS. La selección de modelos se realizó con base en: error de predicción promedio, varianza del error de predicción, coeficiente de determinación, estadístico Durbin-Watson y criterio de información Akaike. Todos los modelos ajustados explicaron alrededor del 96% de la variación de los datos. El modelo con mejor ajuste fue diferente a través de razas, pero coincidió en ambos sexos dentro de raza; para HER fue BER y para SAL fue BRO. Las Υ_{PP} fueron negativas y altas en todos los modelos. Para HER, las estimaciones de EPI y PPI fueron de 3,5 con 118,3 para hembras y 4,1 con 138,4 para machos. Las predicciones del PAD fueron de 343,9 y de 537,2 para SAL, y de 399,1 y 467,2 para HER, en hembras y machos, respectivamente. En HER, la M205 y M365 fue 50,1 y 73,6 en hembras, y de 44,8 y 68,2 en machos. En SAL, la M205 y M365 en hembras fue de 57,9 y 76,4 y en machos de 38,8 y 55,6.

Palabras clave: Bovinos de carne, parámetros crecimiento, tasa crecimiento, curva crecimiento, producción animal, NLIN SAS.

ABSTRACT

In Mexico, weaning and yearling weights in herd of Hereford (HER) and Salers (SAL) breeds are measured at different ages. This information can be used to analyze growth by using nonlinear models (MNL); which is the objective of this study. In HER, 4,549 observations were analyzed of 1,910 animals born from 2002 to 2011 in nine herds; in SAL, 14,468 observations were analyzed of 1,910 animals born from 2000 to 2011 in twelve herds. The MNL assessed were: Brody (BRO), Logistic (LOG), Bertalanffy (BER) and Gompertz (GOM). Thereafter, the following parameters were estimated: asymptotic mature weight (PAD; kg); relative growth rate (PCU; kg/kg/t); the correlation (Υ_{PP}) between PAD and PCU; age and weight of the inflection point (EPI, months; PPI, kg); and, the percentage of maturity up to 205 (GM205) and 365 (GM365) days. Analyses were performed by using NLIN SAS procedure. Model selection was done based on: average prediction error, variance of the prediction error, determination coefficient, Durbin-Watson statistic, and Akaike information criterion. All models fitted accounted for approximately 96% of data variation. The best fitting model was different across breeds but coincided in both sexes within breed; for HER was BER and to SAL was BRO. The Υ_{PP} were negative and high in all models. For HER, the estimates of EPI y PPI were 3.5 with 118.3 for females and 4.1 with 138.4 for males. The predictions of PAD were 343.9 and 537.2 for SAL, and 399.1 and 467.2 for HER, in females and males, respectively. In HER, the GM205 y GM365 were 50.1 y 73.6 in females, and 44.8 and 68.2 in males. In SAL, the GM205 and GM365 in females were 57.9 and 76.4, and for males were 38.8 and 55.6.

Key words: Beef cattle, growth parameter, growth rate, growth curve, animal production, NLIN SAS.

INTRODUCCIÓN

En los sistemas de producción de bovinos (*Bos taurus*) para carne, de la región árida y semiárida del norte de México destaca la producción de novillos para abasto, la cría de becerros para exportación y la producción de pie de crías, entre otros esquemas. En esta región predominan genotipos cruzados y razas especializadas de origen europeo como: Charoláis, Angus, Hereford (HER) y Salers (SAL), entre otras. Las asociaciones de criadores de bovinos HER y SAL tienen integrado un sistema de registro que incluye información genealógica y productiva con variables de crecimiento y reproductivas que se utilizan en los programas integrales de mejoramiento genético a través de evaluaciones genéticas. La información de crecimiento incluye el peso al nacer (PN), el peso al destete (PD) medido en un intervalo de 160 a 250 días (d) ajustado a 205 d; así como el peso al año (PA) de edad, medido en un intervalo de 320 a 410 d y ajustado a 365 d [6]. Sin embargo, dada la variedad en los esquemas de manejo y sistemas de producción de los criadores de estas razas, el PD y posterior PA son medidos a diversas edades, y en algunas ocasiones fuera del intervalo requerido para el programa de evaluaciones genéticas, lo cual genera información de peso vivo (PV) a diferentes edades, que puede ser utilizada para analizar y caracterizar el crecimiento de estas razas.

El desarrollo corporal se ha representado mediante modelos no lineales (MNL), que describen el crecimiento a lo largo del tiempo en función de un número reducido de parámetros (PC) e indicadores (IC) de crecimiento con una interpretación biológica [1, 4, 13], los cuales pueden ser utilizados para realizar predicciones del comportamiento en diversos puntos o condiciones, para el diseño de programas de manejo y comercialización, y en algunos casos implementar estrategias de mejoramiento genético. Sin embargo, para el ajuste de MNL se requiere de un conjunto de pesadas (adicionales al PD y PA) a través de la vida del animal, lo cual implica incrementar los costos de manejo y producción; o en su caso establecer pruebas de comportamiento desde el nacimiento hasta edades adultas, con requerimientos específicos de infraestructura y financiamiento.

En el cambio del PV del animal están involucrados factores genéticos y ambientales con efectos variables a través del tiempo, de la edad y/o desarrollo del individuo [9, 19, 23]. Se han desarrollado diversos MNL para analizar la curva de crecimiento, de acuerdo a condiciones específicas [14, 24, 28], por lo que es importante determinar cuál es el MNL más adecuado a cada situación. Los criadores de bovinos HER y SAL se ubican en las regiones árida y semiárida del norte de México, y en lo particular no existen estudios que describan y analicen la curva de crecimiento de estas razas de bovinos para carne. Con base en lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron: a) Ajustar diferentes MNL al crecimiento de bovinos HER y SAL, con base en la información de crecimiento contenida en los sistemas de registro de las asociaciones de criadores y b) con base en el MNL de mejor ajuste, estimar y/o predecir PC e IC con interpretaciones biológicas

que permitan caracterizar el crecimiento de estas razas de bovinos para carne.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información de crecimiento fue proporcionada por la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Salers y por la Asociación Hereford Mexicana, correspondiente al programa de evaluaciones genéticas nacionales. Para HER, se analizaron 4.549 observaciones de PV, correspondientes a 1.910 individuos nacidos entre los años 2002 a 2011 en nueve hatos; asimismo, para SAL, se analizaron 14.468 observaciones de PV, obtenidas de 6.219 individuos nacidos en el período 2000 – 2011 en doce hatos. Los hatos criadores de HER y SAL se distribuyen en cinco Estados de la República Mexicana: Chihuahua, Zacatecas, Coahuila, Durango y Aguascalientes. En ambas razas, la distribución de la información entre sexos fue 59% para machos y 41% para hembras; la información analizada correspondió al PV en el intervalo de PN hasta los 16 meses de edad, sin realizar ajuste alguno. En la FIG. 1 se presenta el PV promedio a través del período de crecimiento analizado. Los MNL evaluados fueron: Brody (BRO), Logístico (LOG), Bertalanffy (BER) y Gompertz (GOM) [2, 4, 28]. Como PC para cada modelo se realizó la predicción del peso adulto (PAD; kg) asintótico y las estimaciones de la pendiente de la curva (PCU; kg/kg/t) y la tasa relativa de crecimiento [13, 24]. A partir de los PC, se derivaron los IC: edad (EPI; meses) y peso al punto de inflexión (PPI; kg), así como el porcentaje de madurez a los 205 (GM205) y 365 (GM365) d, que corresponde a la edad de ajuste del PD y PA de uso en las evaluaciones genéticas de ambas razas [6]. En el TABLA I se señalan los modelos evaluados, así como los procedimientos de cálculo para los PC e IC.

Los análisis se realizaron con el procedimiento NLIN del programa SAS [26]; el ajuste y la selección de los modelos se realizó por separado en cada sexo con base en cinco criterios [8, 20, 29]: a) el error de predicción promedio

$$(EPP = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^t \left(\frac{po - pe}{po} \right) * 100 / n); b) \text{ la varianza del error}$$

$$\text{de predicción } (VEP = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^t (po - pe)^2 / n); c) \text{ coeficiente}$$

de determinación ($R^2 = (1 - (sce/sct))$); d) estadístico Durbin Watson (DW) para analizar las auto correlaciones en los errores [11] y, e) criterio de información Akaike (AIC) con el planteamiento $AIC = n * \ln(sce/n) + (2k+1)$. Los componentes de los criterios son: po = peso observado; pe = peso estimado; sce = suma de cuadrados del error; sct = suma de cuadrados total corregida; n = número de observaciones; k = número de parámetros que contiene el modelo, incluyendo el intercepto. Para AIC y VEP, el modelo con el menor valor se consideró como el de mejor ajuste.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el TABLA II se presentan los resultados para los criterios utilizados en la selección de modelos, así como los cál-

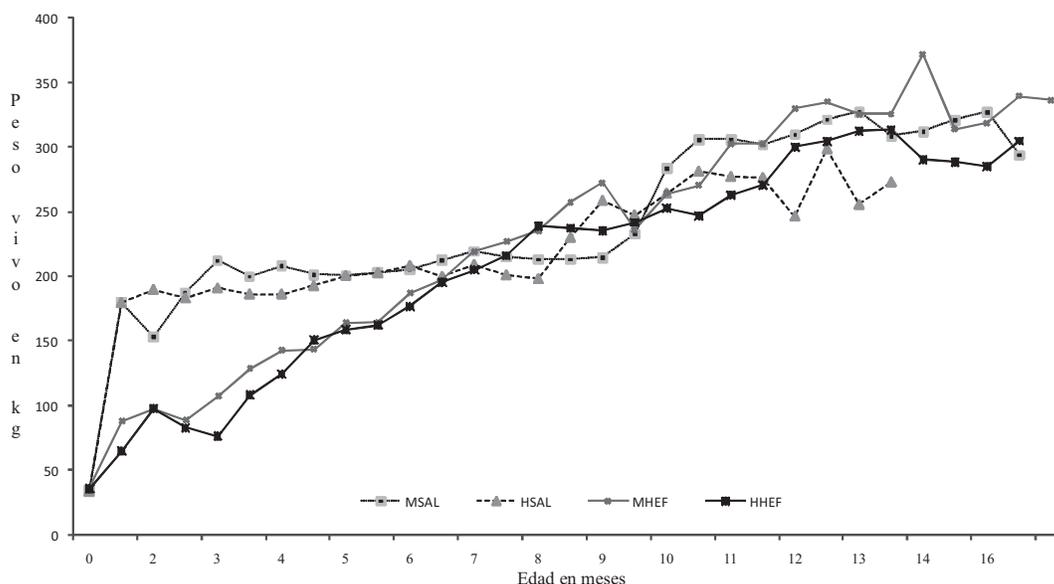


FIGURA 1. PESO VIVO PROMEDIO A TRAVÉS DEL PERÍODO DE CRECIMIENTO ANALIZADO (PN = PESO AL NACER; MSL = MACHOS SALERS; HSL = HEMBRAS SALERS; MHF = MACHOS HEREFORD; HHEF = HEMBRAS HEREFORD).

**TABLA I
ECUACIONES DE LOS MODELOS NO LINEALES ANALIZADOS Y PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS E INDICADORES DE CRECIMIENTO**

Modelo	Ecuación ^P	EPI [†]	PPI [†]	GM [†]
Brody	$y = a*(1-b*a^{(-c*t)})$	—	—	$(1-b*(exp(-c*t)))$
Logístico	$y = a / (1 + b*e^{(-c*t)})$	$t = \ln b / c$	$y = a / 2$	$1/(1+b*(exp(-c*t)))$
Bertalanffy	$y = a*(1-b*e^{(-c*t)})^3$	$t = \ln 3b / c$	$y = a*8 / 27$	$(1-b*(exp(-c*t)))^3$
Gompertz	$y = a*(e^{(-b*e^{(-c*t)})})$	$t = \ln b / c$	$y = a * exp^{-1}$	$exp(-b*(exp(-c*t)))$

^PComponentes y parámetros de crecimiento estimados a partir de los modelos no lineales utilizados: y = peso vivo del animal a la edad t; t = edad del animal en meses; a = peso adulto o asíntotico en kg (PAD); b = constante de integración; c = pendiente de la curva relativa a la tasa de crecimiento en kg/kg/t (PCU). [†]Los elementos para estimar los indicadores de crecimiento se derivan de los componentes de los modelos no lineales. EPI = edad al punto de inflexión en meses; PPI = peso al punto de inflexión en kg. GM = grado de madurez en porcentaje a determinada edad en meses (t).

culos de los PC e IC. Con base en el R², todos los modelos ajustados explicaron alrededor del 96% de la variación de los datos; además, los valores del estadístico DW oscilaron de 0,228 a 0,412 para HER y de 0,128 a 0,173 para SAL, lo cual indica que no hubo problemas de auto correlación en los residuales [30]. La jerarquización y selección del modelo con mejor ajuste fue diferente entre razas, pero coincidió en ambos sexos dentro de raza. El modelo con el mejor ajuste fue BER para HER y BRO para SAL, dado que presentaron los mejores resultados en los criterios de selección AIC, VEP y EPP (TABLA II). En la FIG. 2 se describe el crecimiento de bovinos HER y SAL, en función de los modelos seleccionados con mejor ajuste. El signo en el EPP expresa si la función estudiada sobrestima (+) o subestima (-) las predicciones de los datos analizados; de acuerdo con los resultados obtenidos, todos los modelos ajustados tienden a sobre estimar las predicciones; en los particular, el modelo BER en promedio sobre estimó alrededor del 2,9% en hembras y 3,4% en machos en las predicciones del PV en la raza HER; del mismo modo, el modelo

BRO en promedio sobre estimó en 1,6 y 2,7% las predicciones en hembras y machos de la raza SAL, respectivamente.

Para HER, posterior al modelo BER, la jerarquización se extendió con el orden de GOM, BRO y LOG. En estudios similares [8, 12] se han reportado resultados que coinciden con los presentes, el modelo BER seguido por el modelo de GOM, presentaron los mejores ajustes al evaluar el crecimiento de machos HER. Con respecto a la raza SAL, la jerarquización se extendió con el orden de BER, GOM y LOG. Con respecto a las características de los modelos con mejor ajuste; el modelo BER se derivó a partir de las tasas de anabolismo y catabolismo del animal; su fundamento es que la tasa de crecimiento relativo decrece de forma exponencial; la curva es asimétrica respecto al punto de inflexión, siendo el ritmo de desarrollo más lento posterior al citado punto [1, 15]; no obstante, el modelo BRO considera la velocidad de crecimiento proporcional al crecimiento que queda por efectuar; carece de un punto de inflexión y las tasas de crecimiento disminuyen a medida que aumenta el peso y la edad [2]. El modelo de BRO

TABLA II
RESULTADOS DE LOS CRITERIOS UTILIZADOS PARA LA SELECCIÓN DE MODELOS, Y DE LOS PARÁMETROS
E INDICADORES DE CRECIMIENTO, A PARTIR DE LOS MODELOS NO LINEALES EVALUADOS

Ítem	BER		LOG		BRO		GOM	
	H	M	H	M	H	M	H	M
	Hereford							
PAD	399,1	467,2	317,7	353,7	640,7	967,5	363,4	415,0
PCU	0,1449	0,1303	0,3742	0,3598	0,046	0,031	0,1988	0,1847
$Y_{PAD,PCU}$	-0,95	-0,96	-0,71	-0,73	-0,99	-0,99	-0,91	-0,92
GM6	0,501	0,448	0,632	0,591	0,311	0,221	0,551	0,504
GM12	0,736	0,682	0,922	0,903	0,458	0,336	0,808	0,768
EPI	3,50	4,15	5,39	5,81	—	—	4,22	4,78
PPI	118,25	138,43	158,85	176,85	—	—	133,68	152,67
AIC	12621,1	19949,5	12659,5	19989,5	12625,2	19956,9	12624,5	19952,1
DW	0,412	0,231	0,404	0,228	0,411	0,227	0,411	0,231
EPP	2,96	3,40	4,81	5,66	2,85	4,63	3,23	3,74
VEP	1011,8	1494,5	1032,7	1515,2	1014,4	1519,9	1013,4	1495,8
R ²	0,97	0,96	0,96	0,96	0,97	0,96	0,97	0,96
	Salers							
PAD	298,5	391,4	265,5	326,2	343,9	537,2	286,3	364,0
PCU	0,2057	0,1553	0,4355	0,3727	0,1115	0,062	0,2583	0,2064
$Y_{PAD,PCU}$	-0,95	-0,95	-0,73	-0,68	-0,98	-0,99	-0,91	-0,89
GM6	0,667	0,531	0,752	0,632	0,579	0,388	0,696	0,570
GM12	0,875	0,766	0,966	0,922	0,764	0,556	0,909	0,824
EPI	2,10	3,21	4,28	5,38	—	—	2,90	4,04
PPI	88,44	115,97	132,75	163,10	—	—	105,32	133,91
AIC	37482,9	61123,3	37893,2	61551,9	37346,3	60997,1	37569,8	61210,2
DW	0,170	0,136	0,159	0,128	0,173	0,138	0,168	0,134
EPP	2,11	3,58	3,77	6,72	1,66	2,76	2,45	4,18
VEP	563,17	1270,6	603,6	1335,9	550,3	1252,0	571,5	1283,6
R ²	0,97	0,96	0,97	0,96	0,97	0,96	0,97	0,96

Modelos: Bertalanffy (BER), Logístico (LOG), Brody (BRO) y Gompertz (GOM). Sexos: hembras (H) y machos (M). PAD = peso adulto o asíntotico en kg. PCU = pendiente de la curva kg/kg/mes. $Y_{PAD,PCU}$ = coeficiente de correlación entre PAD y PCU. EPI y PPI: edad (meses) y peso (kg) al punto de inflexión. — BRO no puede derivar EPI y PPI. GM6 y GM12: porcentaje de madurez a los 205 y 365 días de edad. AIC: Criterio de información Akaike. DW: Estadístico Durbin Watson. EPP: error de predicción promedio. VEP: varianza del error de predicción. R²: coeficiente de determinación.

predice satisfactoriamente el peso adulto en bovinos y sobrestima ligeramente los pesos en edades tempranas; sin embargo, del modelo BER se ha enfatizado que puede sobrestimar las predicciones de los pesos a edades tempranas y subestimar las predicciones a la madurez [16, 17, 22].

Los modelos BER, GOM y LOG describen el crecimiento animal como una curva sigmoide a través de la cual la PCU varía con la edad, el punto de inflexión señala el momento en que el crecimiento deja de acelerarse, y al final llega a un punto en que la PCU es de cero; en ese punto se alcanza la asíntota y el animal logra el PAD [4, 19]. Con base en el modelo

BER, en la raza HER las estimaciones de la EPI y PPI fueron de 3,5 meses con 118,3 kg, y de 4,1 meses con 138,4 kg para hembras y para machos, respectivamente; además, las predicciones del PAD fueron de 399,1 kg en hembras y de 467,2 kg en machos (TABLA II). La EPI se situó en el 51,2% (en hembras) y 60,0% (en machos) de la edad de ajuste del PD para las evaluaciones genéticas. El PPI es parte proporcional del PAD; en hembras constituyó el 29,6% y en machos el 29,6%; además, el GM205 y GM365 fue del 50,1 y 73,6% en hembras, y del 44,8 y 68,2% en machos, respectivamente (TABLA II). Algunos autores [8, 12] han publicado prediccio-

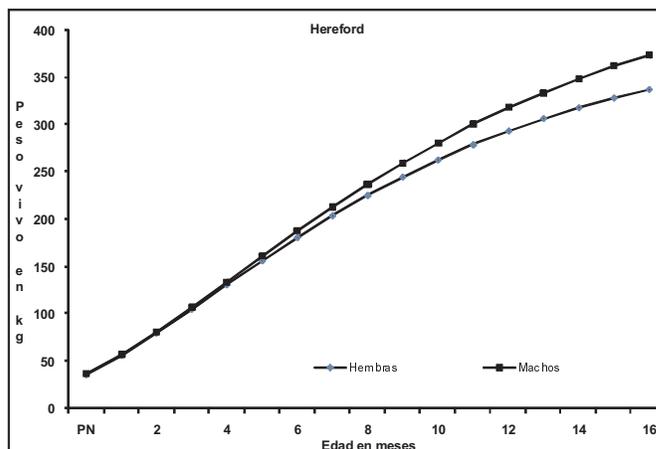
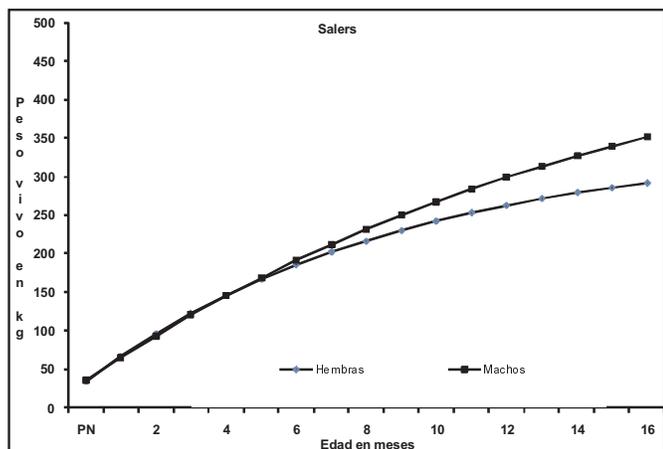


FIGURA 2. CURVA DE CRECIMIENTO PARA BOVINOS SALERS Y HEREFORD, CON BASE EN LOS MODELOS DE BRODY Y BERTALANFFY, RESPECTIVAMENTE (PN = PESO AL NACER).

nes de PAD de mayor magnitud y estimaciones de PCU de menor magnitud en bovinos HER a través de los cuatro modelos evaluados en el presente estudio; y de manera particular, con el modelo de BRO otros autores [3, 10] reportaron predicciones de PAD y estimaciones de PCU con el mismo comportamiento. El modelo de BRO presenta una curva de crecimiento sin punto de inflexión en tres fases con diferentes PCU [10, 21]: a) al inicio un breve periodo de crecimiento exponencial; b) un largo periodo de crecimiento lineal y, c) un periodo de rápida desaceleración hasta el alcanzar PAD. Con base en el modelo BRO, en la raza SAL las predicciones del PAD fueron de 343,9 kg en hembras y de 537,2 kg en machos; en adición, el GM205 y GM365 para hembras fue del 57,9 y 76,4%, y para machos fue de 38,8 y 55,6%, respectivamente (TABLA II). Diferencias a través de razas pueden deberse a diferencias en la constitución genética y a esquemas de manejo y selección. La raza SAL ha sido seleccionada por sus aptitudes mixtas: trabajo, leche y carne, con óptimo crecimiento y sobresaliente en variables de aptitud materna y calidad de la canal [5]. En bovinos SAL se han reportado [25, 27] estimaciones de PCU, de PV a diferentes edades, así como predicciones de PAD superiores a las del presente estudio; además, en otros estudios se ha observado que la raza SAL presenta niveles productivos sobre salientes o de primer nivel, superiores al conjunto de razas de bovinos para carne especializadas de origen europeo y del grupo genético *Bos taurus* [7].

Las correlaciones entre los parámetros PAD y PCU fueron negativas y altas en todos los análisis realizados; en lo particular para el modelo BER en HER y BRO en SAL fueron superior a $-0,90$. Esto se puede atribuir a que los animales que alcanzan la madurez con altos pesos, proceden de una menor tasa de crecimiento; o en su caso, aquellos animales con la mayor tasa de crecimiento tienden a llegar a la madurez con menor peso, en comparación con los de menor tasa de crecimiento [1, 18]. La PCU se refiere a la rapidez de crecimiento relativo al peso adulto; con tasas de crecimiento altas se alcanza el peso adulto a menor edad [4, 22]. El PAD es un parámetro difícil de definir porque la aproximación asintótica al

PAD final es muy lenta y se alcanza a una edad tardía; además, depende de la cantidad de tejido graso el cual es muy variable durante el estado adulto del bovino; el PAD, especialmente de las hembras, afecta muchos aspectos de la producción como las necesidades de mantenimiento, reproducción y valor de desecho [2, 18].

CONCLUSIONES

Todos los modelos ajustados explicaron alrededor del 96% de la variación de los datos; los valores del estadístico Durbin Watson indicaron que no hubo problemas de auto correlación en los residuales, y el signo en el error de predicción promedio indicó que los modelos ajustados tienden a sobre estimar las predicciones.

El modelo con el mejor ajuste fue BER para la raza HER y BRO para la raza SAL. Las correlaciones entre los parámetros peso adulto y tasa de crecimiento fueron negativas y altas a través de todos los análisis realizados, atribuible a que animales con la mayor tasa de crecimiento tienden a llegar a la madurez con menor peso.

En la raza HER, las estimaciones de edad y peso al punto de inflexión fueron de 3,5 meses con 118,3 kg para hembras, y de 4,1 meses con 138,4 kg para machos; además, las predicciones del peso adulto fueron de 399,1 kg en hembras y de 467,2 kg en machos. En la raza SAL, las predicciones del peso adulto fueron de 343,9 kg en hembras y de 537,2 kg en machos.

AGRADECIMIENTO

Se agradece a la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Salers y a la Asociación Hereford Mexicana por facilitar la información de sus registros genealógicos y productivos para la realización de este estudio. Por otro lado, se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para estudios de posgrado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AKBAS, Y.; ALCICEK, A.; ÖNENC, A.; GÜNGÖR, M. Growth curve analysis for body weight and dry matter in Friesian, Limousin x Friesian and Piemontese x Friesian cattle. **Archiv. Tierz. Dummerstorf**. 49:329 – 339. 2006.
- [2] BLASCO, A. La descripción del crecimiento. Informe técnico No 6. 1999. Departamento de Ciencia Animal. Universidad Politécnica de Valencia. En línea: www.dcam.upv.es/dcia/Download/ITO6.pdf 25/01/2013.
- [3] BROWN, J.E.; BROWN, C.J.; BUTTS, W.T. A discussion of the genetic aspects of weight, mature weight and rate of maturing in Hereford and Angus cattle. **J. Anim. Sci.** 34:525-537. 1972.
- [4] BROWN, J.E.; FITZHUGH JR, H.A.; CARTWRIGHT, T.C. A comparison of nonlinear models for describing weight – age relationships in cattle. **J. Anim. Sci.** 42:810-818. 1976.
- [5] BURROW, H.M.; MOORE, S.S.; JOHNSTON, D.J.; BARENDSE, W.; BINDON, B.M. Quantitative and molecular genetics influences on properties of beef: a review. **Aust. J. Exp. Agric.** 41:893 – 919. 2001.
- [6] CONSEJO NACIONAL DE LOS RECURSOS GENÉTICOS PECUARIOS (CONARGEN) Guía técnica de programas de control de producción y mejoramiento genético en bovinos de carne. México. 80 pp. 2010.
- [7] CUNDIFF, L.V.; SZABO, F.; GREGORY, K.E.; KOCH, R.M.; DIKEMANM, M.E.; CROUSE, J.D. Breed comparisons in the Germplasm Evaluation Program at MARC. In: **Proc. Beef Imp. Fed., Asheville, N.C.** Pp 124-136. 1993.
- [8] DE ASSUMPÇÃO, M.A.R.; AUGUSTO, M.J.; FONSECA, S.F.; HENRIQUE, A.L. Curva de crescimento de novilhos Hereford: heterocedasticidade e resíduos autorregressivos. **Ciê. Rur. Sta. Maria**. 35:422-427. 2005.
- [9] DENISE, K.R.S.; BRINKS, J.S. Genetic and environmental aspects of the growth curve parameters in beef cows. **J. Anim. Sci.** 61:1431-1440. 1985.
- [10] DOREN, P.E.; BAKER, J.F.; LONG, C.R.; CARTWRIGHT, T.C. Estimating parameters of growth curves of bulls. **J. Anim. Sci.** 67:1432-1445. 1989.
- [11] DURBIN, J., WATSON, G.S. Testing for serial correlation in least – squares regression. **Biometr.** 38:159-171. 1951.
- [12] ESPIGOLAN, R.; BALDI, F.; AUGUSTI, B.A.; BANCHEIRO, G.; BRITO, G.; LA MANNA, A.; MONTOSSI, F.; FERNANDEZ, E.; GALVÃO DE A., L. Aplicação de modelos não-lineares para descrever evolução de características de crescimento e carcaça em bovinos de raza Hereford. **Ciê. Rur. Sta. Maria**. 43:513-519. 2013.
- [13] FITZHUGH JR, H.A. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. **J. Anim. Sci.** 42:1036-1051. 1976.
- [14] FRANCE, J.; DIJKSTRA, J.; DHANOA, M.S. Growth functions and their application in animal science. **Ann. Zoot.** 45:165-174. 1996.
- [15] GOYACHE, F.M. Crecimiento, consumo y medidas corporales. En: **Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal carne y grasa) en los rumiantes**. V. Cañeque y C. Dañudo (Eds.). Monografías INIA – Serie ganadera. Madrid, España. Pp 11-23. 2005.
- [16] JENKINS, T.G.; KAPS, M.; CUNDIFF, L.V.; FERRELL, C.L. Evaluation of between –and within – breed variation in measures of weight – age relationships. **J. Anim. Sci.** 69:3118-3128. 1991.
- [17] KAPS, M.; HERRING, W.O.; LAMBERSON, W.R. Genetic and environmental parameters for traits derived from the Brody growth curve and their relationships with weaning weight in Angus cattle. **J. Anim. Sci.** 78:1436-1442. 2000.
- [18] KRATOCHVÍLOVÁ, M.; HYÁNKOVÁ, L.; KNIZETOVÁ, H.; FIEDLER, J.; URBAN, F. Growth curve analysis in cattle from early maturity and mature body size viewpoints. **Czech. J. Anim. Sci.** 47:125-132. 2002.
- [19] LAWRENCE, T.L.J.; FOWLER, V.R. Genetic Influences on Growth. **Growth of Farm Animal**. 2nd Ed. CAB International, London, U. K. 347 pp. 2002.
- [20] MOTULSKY, H.J.; CHRISTOPOULOS, A. Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression. A practical guide to curve fitting. Graph Pad Software Inc. San Diego CA, USA. 352 pp. 2003.
- [21] NELSEN, T.C.; LONG, C.R.; CARTWRIGHT, T.C. Post-inflection growth in straightbred and crossbred cattle. I. Heterosis for weight, height and maturing rate. **J. Anim. Sci.** 55:280-292. 1982.
- [22] NUNES DE O., H.; BARBOSA, L.R.; SILVA, P.Y.C. Comparação de modelos não-lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça Guzerá. **Pesq. Agrop. Bras. Brasília** 35:1843-1851. 2000.
- [23] OWENS, F.N.; DUBESKI, P.; HANSON, C.F. Factors that alter the growth and development of ruminants. **J. Anim. Sci.** 71:3138 – 3150. 1993.
- [24] RIBEIRO DE F., A. Curvas de crescimento em Produção Animal. **Rev. Bras. Zoot.** 34:786 – 795. 2005.
- [25] ROUGHSEGE, T.; THOMPSON, R.; VILLANUEVA, B.; SIMM, G. Synthesis of direct and maternal genetic components of economically important traits from beef breed-cross evaluations. **J. Anim. Sci.** 79:2307-2319. 2001.

- [26] STATISTIC ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE (SAS). User's Guide: Statistics (version 9.0). Cary NC, USA. 2001.
- [27] THALLMAN, R.M.; CUNDIFF, L.V.; GREGORY, K.E.; KOCH, R.M. Germplasm evaluation in beef cattle – Cicle IV: postweaning growth and puberty of heifers. **J. Anim. Sci.** 77:2651-2659. 1999.
- [28] THORNLEY, J.H.M.; FRANCE, J. Growth Functions. **Mathematical Models in Agriculture, Quantitative Methods for Plant, Animal and Ecological Sciences.** 2nd Ed. CAB International, London U. K. 435 pp. 2007.
- [29] TORRES, V.; BARBOSA, I; MEYER, R.; NODA, A.; SARDUY, L. Criterios de bondad de ajuste en la selección de modelos no lineales en la descripción de comportamientos biológicos. **Rev. Cub. Cien. Agr.** 46: 345-350. 2012.
- [30] WHITE, K. J. The Durbin-Watson test for autocorrelation in nonlinear models. **Rev. Econom. Statist.** 74:370-373. 1992.