

# Caracterización de la curva de crecimiento del ciervo rojo (*Cervus elaphus scoticus*) en el centro de México

## Characterization of Red deer (*Cervus elaphus scoticus*) growth curves in Central Mexico

Ana Carmen Delgadillo Calvillo\*, Reyes López Ordaz<sup>a</sup>, Hugo H. Montaldo Valdenegro<sup>a</sup>,  
America Luna Estrada<sup>b</sup>, Armando Shimada Miyasaka<sup>b</sup>, Carlos G. Vásquez Peláez<sup>a</sup>

### RESUMEN

El objetivo fue caracterizar la curva de crecimiento del ciervo rojo en condiciones del centro de México. La información correspondió a los registros bimestrales de pesos desde el nacimiento hasta los 800 días de edad, de 240 ciervos nacidos entre 2000 a 2002, de un rebaño en el estado de Querétaro, México. Se utilizaron cinco modelos de regresión polinómica, Gompertz, Von Bertalanffy, Brody y Richards, los cuales fueron comparados por medio del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), cuadrado medio del error (CME) y la prueba parcial de F. El modelo de regresión polinómica hasta el efecto cúbico ajustó mejor desde el punto de vista matemático, mientras que de los modelos logarítmicos, el de Brody, que considera la forma de la curva desde el punto de vista biológico, mostró el mejor ajuste, con pesos a la madurez de 50 a 78 kg en hembras y de 110 a 147 kg en machos.

**PALABRAS CLAVE:** Crecimiento, Ciervo rojo, Modelos logarítmicos.

### ABSTRACT

The objective of this study was to characterize the growth curve of red deer under the production conditions of Central Mexico. Information analyzed included body weight records obtained every two months, from birth to 800 d of age, using 240 red deer born between 2000 and 2002, in a herd located in the State of Querétaro, México. Five models were used, i.e.: Polynomial Regression, Gompertz's, Von Bertalanffy's, Brody's, and Richards'. Models were compared using the coefficient of determination ( $R^2$ ), mean square error (MSE), and partial F test. From the mathematical point of view, the best fit was obtained with the polynomial regression model up to the cubic degree. From the biological point of view, Brody's logarithmic model considering curve shape showed the best fit, with predicted mature body weights of 50 to 78 kg in females, and 110 to 147 kg in males.

**KEY WORDS:** Growth, Red deer, Logarithmic models.

El ciervo rojo (*Cervus elaphus*), de ser considerado principalmente como una especie cinegética, ha pasado a ser una alternativa para la producción de carne<sup>(1)</sup>, iniciándose en forma comercial a principios de la década de 1970 en Australia y Nueva Zelanda.

En producción de carne, la descripción del patrón de crecimiento en un ambiente y sistema de manejo definidos, permite evaluar la importancia de algunos

Traditionally considered as a hunting species, red deer (*Cervus elaphus*), has now become a meat production alternative<sup>(1)</sup>, since early commercial production attempts around 1970, in Australia and New Zealand.

In the context of meat production systems, describing growth patterns under defined environmental and managerial systems, allows us to evaluate the

Recibido el 8 de agosto de 2006. Aceptado para su publicación el 13 de junio de 2008.

<sup>a</sup> Departamento de Genética y Bioestadística, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito Exterior S/N. Ciudad Universitaria Delegación Coyoacán, col. Universidad, Copilco 04510 México, DF. Tel 5622-5854; carlosgv@servidor.unam.mx. Correspondencia al último autor.

<sup>b</sup> Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal CENID-FyMA- INIFAP.

Este trabajo es parte de la tesis de Maestría del primer autor. Proyecto financiado parcialmente por UNAM PAPIIT IN216802.

factores que afectan la eficiencia productiva. Las curvas de crecimiento y su estimación a partir de diferentes funciones<sup>(2,3,4,5)</sup>, han sido ampliamente discutidas en la literatura en ganado bovino<sup>(6-10)</sup>; en ovinos<sup>(11)</sup>, en cerdos<sup>(5)</sup>, en pollos<sup>(12)</sup>, en peces<sup>(13)</sup>, y en Ciervo rojo Ibérico<sup>(14)</sup>.

Por otro lado, en cérvidos se han obtenido resultados en cuanto a estudios de crecimiento en algunas especies o subespecies<sup>(15)</sup>. Utilizando al venado Sika (*Cervus nippon*) en cautiverio, se observó un crecimiento aproximadamente similar en machos y hembras hasta los tres meses de edad, y a partir del cuarto mes los machos mostraron una velocidad de crecimiento más acelerado<sup>(16)</sup>. En Escocia con ciervo rojo (*Cervus elaphus scoticus*) informaron pesos al nacer entre 8.32 y 9.39 kg y de 32.21 a 51.19 kg al destete<sup>(14)</sup>; algunos investigadores estudiaron el crecimiento en el ciervo rojo ibérico (*Cervus elaphus hispanicus*) del nacimiento hasta las 34 semanas de edad, observando ganancias diarias de pesos mayores en los machos que en las hembras, mientras que el peso adulto para machos es de 95 kg para el ciervo escocés<sup>(17)</sup>.

En 1994, el Gobierno Federal introdujo a México un rebaño de ciervo rojo (*Cervus elaphus scoticus*) procedente de Nueva Zelanda como alternativa para producción de carne<sup>(18)</sup>, debido a la falta de conocimiento sobre sus curvas de crecimiento, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar la curva de crecimiento en ciervo rojo (*Cervus elaphus scoticus*) en México.

Se utilizaron registros de pesos bimestrales del nacimiento hasta los 800 días de edad de 240 ciervos nacidos entre 2000 al 2002 en el Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, SAGARPA, localizado en Ajúchitlan, Querétaro a 1,925 msnm, (20° 47' N y 100° 03' O), con clima seco templado y lluvias en verano (BS1K (w))<sup>(19)</sup>, precipitación media anual de 459.2 mm y temperatura media anual de 17.1 °C<sup>(20)</sup>.

La alimentación de las hembras se basó en pastoreo diurno en pradera (alfalfa, pasto Orchard y Ballico

importance of some factors affecting production efficiency. Growth curves and their estimation using different mathematical functions<sup>(2,3,4,5)</sup>, have been broadly discussed in the literature regarding cattle<sup>(6-10)</sup>, sheep<sup>(11)</sup>, swine<sup>(5)</sup>, chicken<sup>(12)</sup>, fish<sup>(13)</sup>, and Iberian red deer<sup>(14)</sup>.

On the other hand, some species and sub-species of cervids have yielded data on growth patterns<sup>(15)</sup>. Using farmed Sika deer (*Cervus nippon*), similar growth patterns were observed in both males and females up to 3 mo of age, but after 4 mo, males showed faster growth rates<sup>(16)</sup>. Scottish workers reported birth weights of 8.32 and 9.39 kg, and weaning weights of 32.21-51.19 kg<sup>(14)</sup> in red deer (*Cervus elaphus scoticus*). Other researchers studied the growth curve of Iberian red deer (*Cervus elaphus hispanicus*) from birth to 34 wk of age. The results showed higher daily weight gains in males than in females, while the adult body weight of male Scottish deer is 95 kg<sup>(17)</sup>.

In 1994, a red deer herd from New Zealand was introduced to Mexico by the federal government, to be evaluated as a new meat production option<sup>(18)</sup>. The objective of this study was to characterize the growth curve of red deer (*Cervus elaphus scoticus*) in Mexico, since no information on this particular topic is available from the literature.

Body weights of 240 deer born between 2000 and 2002 were recorded bimonthly from birth to 800 d of age, in the *Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, SAGARPA* (Mexico's National Animal Physiology and Improvement Research Center, National Forestry, Agricultural and Animal Research Institute, The Secretariat of Agriculture, Livestock Production, Rural Development, Fisheries and Food), located at Ajuchitlán, Querétaro, 1,925 m asl, (20° 47' N & 100° 03' O), with temperate, dry weather, and Summer rains (BS1K (w))<sup>(19)</sup>, mean yearly rainfall rate of 459.2 mm, and mean annual temperature of 17.1 °C<sup>(20)</sup>.

During the daytime, breeding females grazed on a mixed grassland that included alfalfa and Orchard/

## CARACTERIZACIÓN DE LA CURVA DE CRECIMIENTO DEL CIERVO ROJO

(*Lolium perenne*). Por la tarde, los animales se mantenían en corrales donde se les suministraba 500 g de concentrado por animal. La alimentación de las hembras durante el empadre se basó en una dieta de concentrado y forrajes henificados. Los machos se quedaban en sus corrales y su alimentación se basó en forrajes de corte. El empadre se realizó en una relación de 10 hembras por cada macho.

Los datos de pesos se ajustaron por año de nacimiento para cada sexo, y se analizaron utilizando modelos lineales y no lineales ajustados con los procedimientos REG y NLIN<sup>(21)</sup>. Los modelos fueron: regresión polinomial ( $y = \beta_0 + \beta_1 x + \dots + \beta_n x^n$ ), y modelos no lineales donde se estiman los parámetros con un sentido biológico como el de Brody  $y = A(1 - be^{-kx})$ ; Von Bertalanffy  $y = A(1 - be^{-kx})^3$ ; Gompertz  $y = A \exp(-be^{-kx})$  y Richards  $y = A(1 + be^{-kx})^M$ , siendo el valor M fijo o no en esta última función.

De acuerdo con Fitzhugh<sup>(2)</sup> estos modelos no lineales pueden generalizarse como  $y = A(1 - be^{-kx})^M$  donde y es el peso corporal a una determinada edad (x); A es el peso a la madurez; b es un parámetro de escala establecido por los valores iniciales de y y de x; k es la tasa de madurez; e es el logaritmo natural y M establece el grado de

Ballico (*Lolium perenne*) grass. In the evening, animals were confined to pens, receiving 500 g concentrate/head. At mating, females were fed a concentrate/hay-based diet. Males remained in their pens, receiving freshly cut forage. Mating ratio was 10 females : 1 male.

Body weight data were analyzed on a per-year-of-birth/per-sex basis using linear and non-linear models, with REG and NLIN<sup>(21)</sup> procedures. Models included: polynomial regression ( $y = \beta_0 + \beta_1 x + \dots + \beta_n x^n$ ), and non-linear models estimating parameters with a biological meaning such as Brody's,  $y = A(1 - be^{-kx})$ ; Von Bertalanffy's,  $y = A(1 - be^{-kx})^3$ ; Gompertz's,  $y = A \exp(-be^{-kx})$ ; and Richards',  $y = A(1 + be^{-kx})^M$ , having the M value fixed or not fixed in this last function.

In agreement with Fitzhugh<sup>(2)</sup>, these non-linear models can be generalized as  $y = A(1 - be^{-kx})^M$ , where y is the body weight at a given age (x); A is the weight at maturity; b is the scale parameter established by the initial values of both y and x; k is maturity rate; e is the natural logarithm, and M establishes the maturity degree at point of inflection. Models were compared using the determination coefficient (R<sup>2</sup>), mean square error (MSE), and partial F test to compare the full model *versus* the reduced model<sup>(22,23)</sup>.

Cuadro 1. Ecuaciones estimadas, cuadrados medios del error (CME) y coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) obtenidos en los modelos estudiados

Table 1. Estimated equations, mean square error (MSE) and determination coefficients (R<sup>2</sup>) from the models studied

Model	Equation	MSE	R <sup>2</sup>
Females			
Polynomic	$y = 9.91903 + 0.26744 x - 0.00053566 x^2 + 4.284678 x 10^{-7} x^3$	33.74	0.909
Brody's (exponential)	$y = 78.3330(1 - 0.8647 \exp(-0.00343 x))$	38.28	0.982
Von Bertalanffy's (sigmoidal)	$y = 72.2161 (1 - 0.4496 \exp(-0.00538 x))^3$	42.61	0.980
Richards' (sigmoidal)	$y = 50.7746 (1 + 0.5000 \exp(-0.5540 x))^{5.0636}$	110.8	0.950
Gompertz's (sigmoidal)	$y = 70.4877 \exp(-1.7124 \exp(-0.00636 x))$	44.79	0.979
Males			
Polynomic	$y = 10.14067 + 0.28397 x - 0.00059737 x^2 + 0.0000005056877 x^3$	43.27	0.936
Brody's (exponential)	$y = 147.7(1 - 0.9072 \exp(-0.00122 x))$	64.6	0.981
Von Bertalanffy's (sigmoidal)	$y = 116.9 (1 - 0.4819 \exp(-0.00255 x))^3$	72.38	0.979
Richards' (sigmoidal)	$y = 110.6 (1 + 0.00136 \exp(-0.00321 x))^{1359.8}$	76.16	0.978
Gompertz's (sigmoidal)	$y = 110.6 \exp(-1.8533 \exp(-0.00320 x))$	76.06	0.978

madurez al punto de inflexión. Los modelos fueron comparados utilizando los criterios de coeficiente de determinación ( $R^2$ ), cuadrado medio del error (CME) y la prueba parcial de F para comparar el modelo completo con el modelo reducido<sup>(22,23)</sup>.

En el Cuadro 1 se presentan las ecuaciones estimadas, su coeficiente de determinación y cuadrado medio del error. Se observó que la ecuación de regresión polinomial que incluyó hasta

Table 1 shows the estimated equations,  $R^2$  and MSE values. It was found that the polynomial regression equation up to the cubic degree, showed a good fit in females with  $R^2$  values of 0.90, and in males with  $R^2$  values of 0.93, and with MSE values at 33.74 and 43.27 for females and males, respectively. Among the non-linear models, Brody's model showed the best fit with MSE values of 38.28 and 64.6 for females and males, respectively, with a  $R^2$  of 0.98 for both genders. Mature weight varied from 50 to 78 kg in females, and from 110 to 147 kg in males, for the different non-linear models.

Cuadro 2. Prueba parcial de F para modelos con sentido biológico en hembras y machos

Table 2. Partial F test for models with a biologic sense in females and males

Full model	Reduced model	Fc	P
Females:			
Richards	Brody's	-393.6002311	NS
Richards	Gompertz's	-358.1509586	NS
Richards	Von Bertalanffy's	-370.0458792	NS
Males:			
Richards	Brody's	-129.7687517	NS
Richards	Gompertz's	-0.089492968	NS
Richards	Von Bertalanffy's	-41.70109092	NS

Fc= calculated F.

As far as non-linear models are concerned, Table 2 shows the results of partial F test, with no significant differences ( $P > 0.05$ ) among the different models when compared with Richards' model. Nevertheless, Brody's model reduced the variation in 15 % with regard to Richards' model for males and 65 % for females.

Figures 1 and 2 show the growth curves predicted for both the cubic polynomial model and Brody's model for females and males, respectively. Figure 3 shows the growth curves for red deer females and males after adjusting Brody's model.

From the mathematical point of view, the equation obtained using the cubic polynomial regression

Figura 1. Curvas de crecimiento para hembras de ciervo rojo hasta los 800 días

Figure 1. Growth curves for red deer females up to 800 days

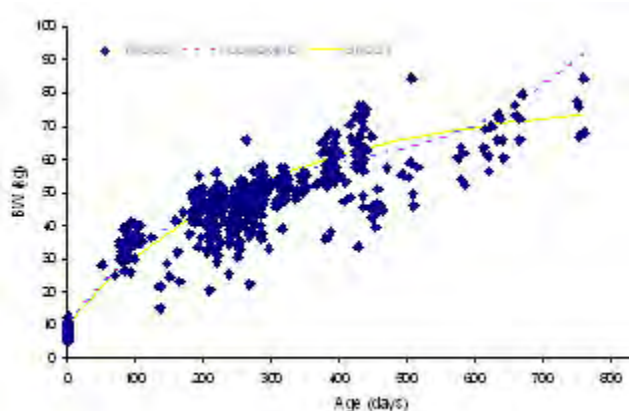
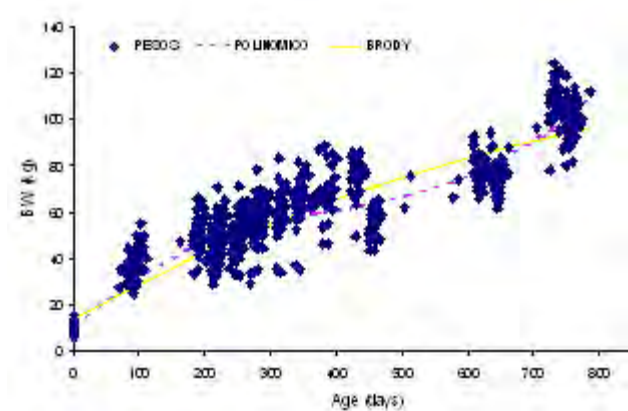


Figura 2. Curvas de crecimiento para machos de ciervo rojo hasta los 800 días

Figure 2. Growth curves for red deer males up to 800 days



## CARACTERIZACIÓN DE LA CURVA DE CRECIMIENTO DEL CIERVO ROJO

el efecto cúbico, mostró un buen ajuste, en hembras con valores de  $R^2$  de 0.90 y en machos de 0.93, mientras que el CME para hembras fue de 33.74 y 43.27 en machos. De los modelos no lineales, el que mejor ajustó fue el modelo de Brody con valores del CME de 38.28 para hembras y de 64.6 para machos con  $R^2$  de 0.98 para ambos sexos. El parámetro de peso a la madurez varió de 50 a 78 kg en hembras y de 110 a 147 kg en machos para los distintos modelos no lineales.

Con respecto a los modelos no lineales, el Cuadro 2 presenta los resultados para la prueba parcial de F; estos resultados muestran que no existen diferencias significativas entre los diferentes modelos con respecto al modelo de Richards ( $P > 0.05$ ). Sin embargo, el modelo de Brody redujo la variación en un 15 % con respecto al modelo de Richards para los machos y de 65 % para las hembras.

En las Figuras 1 y 2 se presentan las curvas de crecimiento para el modelo polinomial cúbico y el de Brody para hembras y machos respectivamente, mientras que en la Figura 3 se observa la curva de crecimiento de ciervos rojos de hembras y de machos ajustando el modelo de Brody.

La ecuación obtenida a partir del modelo de regresión polinomial, cúbica fue la que mostró un buen ajuste a los datos desde el punto de vista matemático, tanto para hembras como para machos; sin embargo, estas ecuaciones no muestran la inflexión de la curva al alcanzar el peso maduro, por lo que si bien tienen un buen ajuste desde el punto de vista matemático, no proporcionan una representación adecuada del fenómeno de crecimiento, como lo hacen los modelos no lineales que estiman los parámetros con un sentido biológico, en bovinos Azul Belga, en estos modelos, de acuerdo al CME el que mejor se ajustó a los datos tanto para hembras como para machos fue el de Brody, aunque considerando la  $R^2$  y la prueba parcial de F, no muestran diferencias significativas entre estos modelos ( $P > 0.001$ )<sup>(14)</sup>. Un resultado diferente se obtuvo para bovinos de la raza Angus<sup>(8)</sup>, donde los autores mencionan que el modelo de Brody es un buen predictor de los pesos, mientras que el modelo de Richards lo sobreestima.

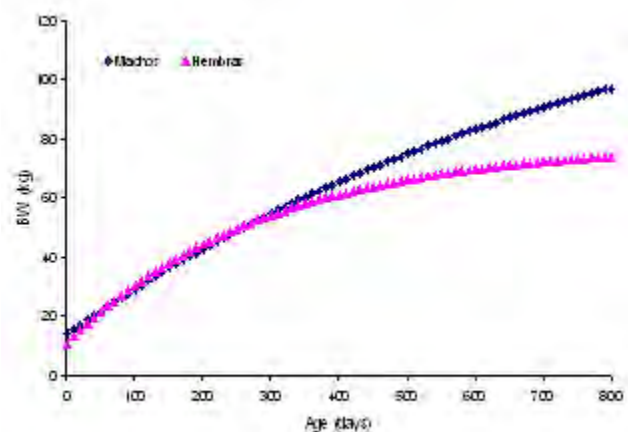
model showed the best fit with the data, for both females and males. Nevertheless, these equations do not show a curve inflection when mature weight is reached. Therefore, even though such equations show a good fit from the mathematical standpoint, they do not represent properly the growth phenomenon, but this does occur when the non-linear models estimating the parameters with a biological meaning are used for Blue Belgian cattle. Considering the MSE, Brody's model showed the best fit for both females and males, even though  $R^2$  and partial F test showed no significant differences ( $P > 0.001$ ) among these models<sup>(14)</sup>. Different results were obtained elsewhere using Angus cattle<sup>(8)</sup>, where authors found that the Brody's model was a good body weight predictor, while this parameter was overestimated when Richards' model was used.

On the other hand, Brody's model did not show the inflection point as reported by other researchers<sup>(3,9)</sup> with a growth curve behavior similar to that found in Angus cattle<sup>(24)</sup> and sheep<sup>(25)</sup>.

In agreement with that found in Brody's model, females reach mature weight at 78 kg and males at 147 kg. Angus cattle reach mature weight at 440 kg<sup>(24)</sup> and sheep at 106 kg<sup>(25)</sup>. Considering that weight at puberty is 75 % of mature weight<sup>(26,27)</sup>,

Figura 3. Curvas de crecimiento con el modelo de Brody para hembras y machos

Figure 3. Growth curves for males and females using Brody's model



Por otro lado, se puede observar que el modelo de Brody no presentó un punto de inflexión como se menciona en otros estudios<sup>(3,9)</sup>, observándose un comportamiento similar de la curva de crecimiento al encontrado en bovinos de la Angus<sup>(24)</sup> y en ovinos<sup>(25)</sup>.

De acuerdo al modelo de Brody las hembras alcanzan el peso maduro a los 78 kg, mientras que los machos alcanzan el peso maduro a los 147 kg. En bovinos de la raza Angus el peso maduro se alcanza a los 440 kg<sup>(24)</sup> y en ovinos a los 106 kg<sup>(25)</sup>. Si se considera el peso a la pubertad que sería el 75 % del peso a la madurez<sup>(26,27)</sup>, esto nos indica que las hembras alcanzan el peso a la pubertad a los 58.5 kg, aproximadamente al año de edad, mientras que en los machos sería a los 110 kg, aproximadamente a los 3 años de edad.

Se concluye que estos resultados permiten establecer criterios de selección para producción de carne en ciervos para peso maduro a un determinado peso, que en hembras se alcanza a los 78 kg y en machos a los 147 kg.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece las facilidades prestadas por el registro de datos del Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENID-FyMA), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de Ajuchitlán, Qro. (SAGARPA).

## LITERATURA CITADA

1. Van den Berg GHJ, Garrick DJ. Inheritance of adult velvet antler weights and live weights in farmed red deer. *Livest Prod Sci* 1997;(49):287-295.
2. Fitzhugh HA. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *J Anim Sci* 1976;(42):1036-1051.
3. Brown JE, Fitzhugh HA, Cartwright TC. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *J Anim Sci* 1976;(42):810-818.
4. Behr de V, Hornick JL, Cabaraux JF, Alvarez A, Istasse L. Growth patterns of Belgian Blue replacement heifers and growing males in commercial farms. *Livest Prod Sci* 2001;(71):121-130.

then females have a 58.5 kg puberty weight at approximately one year of age, while males have a 110 kg puberty weight at 3 yr of age.

We conclude that these results allow for establishing selection criteria for meat production in deer for mature weight at a given weight, which is 78 kg and 147 kg for females and males, respectively.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Gratitude is expressed to Mexico's Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENID-FyMA), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Ajuchitlán, Qro. (SAGARPA), for their data recording assistance.

*End of english version*

5. Huisman AE, Veerkamp RF, Van Arendonk JAM. Genetic parameters for various random regression models to describe the weight data of pigs. *J Anim Sci* 2002;(80):575-582.
6. DeNise RS, Brinks JS. Genetic and environmental aspects of the growth curve parameters in beef cows. *J Anim Sci* 1985;(61):1431-1440.
7. Archer JA, Herd RM, Arthur PF, Parnell PF. Correlated responses in rate of maturation and mature size of cows and steers to divergent selection for yearling growth rate in Angus cattle. *Livest Prod Sci* 1998;(54):183-192.
8. Kaps M, Herring WO, Lamberson WR. Genetic and environmental parameters for traits derived from the Brody growth curve and their relationship with weaning weight in Angus cattle. *J Anim Sci* 2000;(78):1436-1442.
9. López de Torre G, Candotti JJ, Reverter A, Bellido MM, Vasco P, García LJ, Brinks JS. Effects of growth curve parameters on cow efficiency. *J Anim Sci* 1992;(70):2668-2672.
10. Menchaca MA, Chase CC, Olson TA, Hammond AC. Evaluation of growth curves of Brahman cattle of various sizes. *J Anim Sci* 1996;(74):2140-2151.
11. Bathaei SS, Pascal LL. Genetic and phenotypic aspects of the growth curve characteristics in Mehraban Iranian fat-tailed sheep. *Small Rumin Res* 1998;(29):261-269.
12. Mignon-Grasteau S, Piles M, Varona L, de Rochambeau H, Poivey JP, Blasco A, Beaumont C. Genetic analysis of growth curve parameters for male and female chickens resulting from selection on shape of growth curve. *J Anim Sci* 2000;(78):2515-2524.
13. López S, France J, Gerrits WJJ, Dhanoa MS, Humphries DJ, Dijkstra J. A generalized Michaelis-Menten equation for the analysis of growth. *J Anim Sci* 2000;(78):1816-1828.

CARACTERIZACIÓN DE LA CURVA DE CRECIMIENTO DEL CIERVO ROJO

14. Landete-Castillejos T, García A, Gallego L. Calf growth in captive Iberian red deer (*Cervus elaphus hispanicus*): effects of birth and hind milk production and composition. *J Anim Sci* 2001;(79):1085-1092.
15. Uchida H, Ikeda S, Ishida M, Inoue T, Takeda T. Growth characteristics of artificially reared Sika deer (*Cervus nippon*). *Anim Sci J* 2001;(72):461-466.
16. McManus CM. Within-farm estimates of genetic and phenotypic parameters for growth and reproductive traits for red deer. *Anim Prod* 1993;(57):153-159.
17. De Vos A. FAO Animal Production and Health Paper 27. Deer Farming [on line]. <http://www.fao.org/DOCREP/004/X6529E/x6529E00.htm>. Accessed Jan 3, 2005.
18. Vásquez CG, Olvera L, Sequeiros Y, Kuri ML, Navarro VA, Rovelo AE, Shimada A. Nursing and feeding behavior of confined red deer (*Cervus elaphus scoticus*) in the Mexican highlands. *NZ J Agric Res* 2004;(47):1-9.
19. García E. Modificación al sistema de clasificación climática de Köpen. México. 1988.
20. INEGI, Cartas topográficas de climas de temperaturas y precipitación. Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática en México. 2000.
21. SAS, SAS/STAT Users Guide versión 8. SAS Institute Cary, NC, USA. 2001.
22. Neter J, Wasserman W. Applied linear statistical models. Georgentown, Ontario. Irwin-Dorsey Limited. 1974.
23. Montgomery DC, Peck EA, Geoffrey VG. Introduction to linear regression analysis. New York, USA: Ed. John Wiley & sons, Inc; 2001.
24. Beltran JJ, Butts WT, Olson TA, Koger M. Growth patterns of two lines of Angus cattle selected using predicted growth parameters. *Jp Anim Sci* 1992;(70):734-741.
25. Jenkins TG, Leymaster KA. Estimates of maturing rates and masses at maturity for Brody components of sheep. *J Anim Sci* 1993;(71):2952-2957.
26. Ocanto D, Linares T, Patiño A, Ramos C, Escobar S. Índices de pubertad en Bovinos machos criollo Río Limón y Brahamán. *Zoot Tropical* 1991;(9):25-54.
27. Plasse D. Aspectos de crecimiento del *Bos indicus* en el trópico Americano. *World Rev Anim Prod* 1979;(15):21-38.