

Azor, P. J.¹; Jiménez, J. M.²; Valera, M.³; Salado, F.²;
Álvarez, F.⁴; Pérez, J. A.⁴; Molina, A.¹

- 1 Departamento de Genética. Universidad de Córdoba. Edif. Mendel, Pl. Baja, Campus de Rabanales Crtra. N-IV, Km 396^a. 14071 Córdoba.
- 2 Centro Experimental Agrícola Ganadero. Excma. Diputación de Cádiz. Jerez de la Frontera. Cádiz.
- 3 Departamento de Ciencias Agroforestales. Unidad de Zootécnia. EUITA. Ctra. de Utrera, Km.1. 41.013. Sevilla.
- 4 Asociación Nacional de Criadores de Ganado Vacuno Selecto de Raza Retinta. Madrid



Asociación Nacional de Criadores
de Ganado Vacuno Selecto de Raza Retinta

Determinación de la curva de crecimiento de los terneros de raza retinta

INTRODUCCIÓN

Las curvas de crecimiento reflejan la relación a lo largo de la vida entre el impulso inherente de los individuos a crecer y madurar en todas las partes del cuerpo, y el ambiente en que se expresan estos impulsos. Este ambiente está formado por el nivel individual de productividad, la cantidad y calidad del alimento consumido y el esfuerzo necesario para localizarlo, consumirlo y digerirlo (Fitzhugh, 1976). Reflejan, por lo tanto, la información necesaria para entender el fenómeno biológico del crecimiento que es un componente muy importante en los sistemas de producción de vacuno de carne. (Menchaca et al., 1996).

Desde la publicación en 1945 de *Bioenergetics y Growth* (Brody, 1945) se han hecho numerosos esfuerzos para refinar y extender esta teoría, dando lugar a la definición de numerosas curvas de creciente complejidad que sean capaces de definir el crecimiento desde el nacimiento hasta la madurez (e incluso desde el momento de la concepción). Así el interés por el estudio de las curvas de crecimiento que relacionan un peso de un animal con su edad ha aumentado mucho en los últimos años como consecuencia de la aparición de nuevas técnicas computacionales que permiten mayor rapidez y precisión de los análisis y también de una mayor necesidad de tener información sobre una población (Fonseca et al., 2001).

Ya en el año 1995 nuestro grupo de investigación, PAI-AGR-158, realizó una serie de experiencias para definir la función de crecimiento hasta el destete de la raza Retinta, realizar un análisis crítico del proceso de tipificación y optimizar el proceso de recogida de los registros productivos con determinación del rango de edades óptimo para minimizar la pérdida de precisión (Berlangua et al., 1995, Luque et al., 1995, Berlangua, 1996).

Actualmente, dentro del objetivo global de extender el conocimiento del potencial cárnico de terneros de raza Retinta durante el periodo de cebo, debido a que es uno de los periodos de producción del bovino de carne de mayor importancia sobre el resultado económico de la explotación, hemos estudiado la evolución del peso desde el inicio del cebo hasta su finalización, con determinación de su ajuste global a determinadas ecuaciones matemáticas del crecimiento con el fin de seleccionar la curva de mejor ajuste.

Así veremos cual de ellas se ajusta más a los datos de los animales y poder recomendarla para la tipificación de pesos a edades fijas o de estudios de correlación con otras variables relacionadas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para este trabajo se ha realizado el ajuste global a las principales curvas de crecimiento citadas en la bibliografía utilizando para ello el algoritmo DFA (*Derivate Free Algorithm*) del procedimiento PROC NLIN del programa SAS. También hemos estimado otros parámetros derivados de las curvas de crecimiento biológicas estimadas y hemos seleccionado la curva que mejor se ajusta al crecimiento. El material animal con el que hemos contado fue descrito por Azor et al., (2004).

Estas curvas han sido agrupadas en 3 grupos:

- Curvas polinómicas
- Curvas biológicas
- Otras curvas

En las tablas 1 y 2 se presentan las ecuaciones analizadas junto con los principales parámetros que las definen.

Tabla 1. Relación de las ecuaciones de crecimiento biológicas estudiadas

Biológicas	Modelo
Logística generalizada	$P=A/(1+e^{-K \cdot E})^{-M}$
Brody	$P=A(1-B \cdot e^{-KE})$
Gompertz	$P=A \cdot e^{-B \cdot e^{-KE}}$
Bertalanffy	$P=A(1-B \cdot e^{-KE^{1/3}})$
Richards	$P=A(1-B \cdot e^{-K \cdot E^M})$

1. Curvas polinómicas

En este grupo se incluyen las curvas más utilizadas para describir el crecimiento de los terneros durante el periodo de cebo. Se han estudiado sólo hasta la ecuación polinómica de cuarto grado, ya que, conforme aumenta el número de parámetros a estudiar aumenta la complejidad de su cálculo pero no la información útil que nos proporciona.

Todas las curvas presentan parámetros con la misma interpretación: "a" es la ordenada en el origen (estimación del peso al nacimiento), "b" es la pendiente media de la curva (estimación de la GMD desde el nacimiento a la edad máxima) y "c", "d" y "e" son parámetros que determinan la desviación de la linealidad en los polinomios de 2º, 3º y 4º grado.

2. Curvas biológicas

Son un grupo de ecuaciones desarrolladas específicamente para calcular el crecimiento del animal desde el nacimiento hasta el peso adulto en la madurez. Se las denomina como curvas *biológicas*, ya que todas presentan como atributo común el hecho de presentar parámetros que pueden ser interpretados biológicamente (tabla 1). En estas curvas aparecen dos parámetros biológicos importantes como son:

- A, peso asíntotico en la madurez que establece la posición del individuo o del grupo dentro del posible rango de pesos a la madurez, "A", es decir, este parámetro establece si el animal, grupo o raza tiene un peso máximo bajo, medio o alto, independientemente de las fluctuaciones de pesos debidas a efectos genéticos y ambientales (Nobre *et al.*, 1987).
- El segundo parámetro importante, común a todas estas funciones, es el índice de crecimiento relativo al peso a la madurez o índice de madurez, "K", parámetro que nos indica el tiempo medio que se tarda en alcanzar la madurez. Estima la precocidad en alcanzar la madurez y determina la eficiencia de crecimiento de un animal.
- Adicionalmente la mayoría de estas curvas definen un tercer parámetro, el punto de inflexión, el cual estimaría el punto (pesos y edad) en la que se produciría un cambio en la curva de una fase de "autoaceleración" hacia otra fase de "autoinhibición" dentro de la típica curva sigmoidea, es decir, indica el punto a partir del

Tabla 2. Relación de otras ecuaciones de crecimiento estudiadas

	Modelo
Parabólica	$P=AE^K$
Exponencial	$P=A(1-e^{-K \cdot E - CE})$
Logística	$P=Pf/1+((Pf-Po)/Po) \cdot e^{E^2-8E}$

cual un animal pasa a crecer con menos eficiencia (Brody, 1945).

- Por último el parámetro B es denominado parámetro de integración o interceptación con el eje Y sin otro significado biológico claro.

La primera ecuación, conocida como *logística generalizada* (Nelder, 1961), se considera un modelo de curva *biológica*, ya que sus parámetros se pueden interpretar en clave *fisiológica*.

En segundo lugar se ha estimado la ecuación de *Brody* (Brody, 1945), que puede considerarse un caso particular de la ecuación de *Richards* donde el parámetro de forma de la curva, "M", toma el valor de 1.

La tercera ecuación estudiada ha sido la ecuación de *Gompertz* (Laird, 1966).

La cuarta ecuación *biológica* ha sido la ecuación de *Von Bertalanffy* (Bertalanffy, 1957), también considerada caso particular de la ecuación de *Richards* donde el parámetro "M" toma el valor de 3.

Por último, la ecuación de *Richards* (Richards, 1959) se la puede considerar como el caso más general de las ecuaciones biológicas, así como la de mayor complejidad, debido al elevado número de parámetros que presenta.

3. Otras curvas utilizadas en la bibliografía

Dentro de este grupo hemos analizado algunas de las curvas que con mayor o menor frecuencia se pueden encontrar en la bibliografía en el caso del vacuno de carne. Así se han estimado una curva exponencial (el crecimiento es autoacelerado), una parabólica (el crecimiento presenta una fase de aceleración y otra de disminución) y una logística (este tipo de ecuaciones se caracteriza por el hecho de que la velocidad de crecimiento disminuye de forma inversa simple con la edad del animal), como se muestra en la tabla 2.

El criterio seguido para la comparación del ajuste de las diferentes ecuaciones estudiadas fue:

1. El **coeficiente determinativo (R²)** que expresa el porcentaje de variabilidad del peso que es explicado por su dependencia de la edad.

Este R² fue ajustado para el nº de parámetros calculados en la ecuación (R²_{Adj.}) con el objeto de poder comparar el ajuste de las curvas con diferente nº de parámetros (Bliss, 1970):

$$R^2_{adj.} = 1 - \left[\frac{((n-1) \times (1-R^2))}{((n-p)+1)} \right]$$

siendo n el número de observaciones, y p , el número de parámetros.

2. El **peso estimado al año de edad**, que al compararlo con el peso tipificado al año, nos indica el ajuste de la curva en el punto de referencia de los 12 meses.

La comparación entre peso real y peso estimado a los 12 meses nos dará un visión del ajuste en este peso de referencia. En este sentido, decir que el valor del peso real obtenido en este trabajo al año de edad ha sido 508,5 Kg (Azor et al., 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Curvas polinómicas

En la figura 1 se muestran las ecuaciones polinómicas obtenidas y la representación gráfica de las mismas.

Las curvas de crecimiento más estudiadas en la bibliografía son las *polinómicas* debido a la evidente facilidad de cálculo, al no exigir procedimientos no lineales (mucho más lentos y más exigentes desde el punto de vista computacional) a pesar de que, a excepción de la lineal (y tal vez la cuadrática) no posean una fácil interpretación.

La ecuación lineal asume un crecimiento constante a lo largo de toda la vida del animal (en nuestro caso con un incremento diario de 1,16 Kg). El coeficiente determinante obtenido ha sido superior al de todas las curvas analizadas ($R^2_{adj.}=0,774$). Este crecimiento diario es inferior a la GMD obtenida de forma global para todos los animales en cebo. La estimación del peso a los 12 meses ha sido inferior al valor real en 37 Kg.

En la figura que representa la ecuación de 2º grado se observa que presenta también un buen ajuste ($R^2_{adj.}=0,773$). El escaso rango de magnitud del coeficiente de segundo grado hace que esta curva sea en el tramo estudiado casi una recta, es decir que presenta una baja desviación global de la linealidad. Al igual que la ecuación lineal, esta curva subestima el peso a los 12 meses en 32 Kg.

Según nuestros resultados los polinomios de tercer y 4º grado no presentan ninguna ventaja sobre las anteriores, ni a nivel de R^2 , ni a nivel de ajuste visual a los datos de su representación gráfica. En cuanto al valor estimado por estas ecuaciones al año de edad la de tercer grado lo subestima en unos 24 Kg y la de 4º grado lo sobreestima en 184 Kg.

2. Curvas biológicas

En este grupo hemos incluido como principales curvas la *logística generalizada* (un caso especial de las logísticas en la que sus parámetros pueden explicarse en clave biológica), *Brody*, *Gompertz*, *Von Bertalanffy* y finalmente la curva de *Richards*.

Son curvas generalmente complejas y de elevado coste computacional debido al elevado número de parámetros a estimar. Como ya se vió en el apartado de material y

métodos, una característica común de estos modelos de crecimiento es el utilizar directa o indirectamente diferentes parámetros biológicos importantes:

En la figura 2 se presentan los resultados de las curvas biológicas estudiadas, y la representación gráfica.

Dentro de este grupo de curvas la de *Gompertz* y la de *Von Bertalanffy* son las que han presentado un mayor ajuste global y la de *Richards* la que menos, incluso muy lejos del resto de curvas analizadas.

En cuanto al ajuste al peso de referencia de los 12 meses, todos los pesos estimados por estas curvas a los 365 días de edad están ligeramente subestimados, desde 22 Kg de la *logística generalizada*, hasta 65,8 Kg de la *Richards*. En cambio la curva de *Von Bertalanffy* estima un peso para esta edad de 740,4 Kg, muy superior a la obtenida. En este sentido la curva *Logística Generalizada* presenta un mejor ajuste en este punto seguida de *Gompertz* y en último lugar *Von Bertalanffy*.

En la curva logística generalizada, al igual que en las demás logísticas, la velocidad de crecimiento disminuye de forma inversa simple a la edad del animal. Según nuestros resultados presenta un ajuste intermedio dentro de este grupo de curvas. El parámetro K , relacionado con el índice de madurez, (la relación que determina el tiempo que tarda el animal a una velocidad de crecimiento máxima en alcanzar el peso maduro) ha sido 0,0063. en cuanto al parámetro M (parámetro que define el punto de inflexión) ha sido de 4,296.

La curva de *Brody* presenta un mal ajuste global dentro de las curvas de este grupo, siendo sólo superior a la de *Richards*. El valor de B es superior al resto y el valor de K es inferior al del resto de curvas biológicas. El peso asintótico estimado está en torno a los 1.050 Kg.

La siguiente ecuación analizada es la de *Gompertz*, en la que el peso asintótico estimado ha sido 833,1 Kg, superior al estimado en la ecuación *logística generalizada* y de *Richards* e inferior al estimado en las curvas de *Brody* y *Von Bertalanffy*. El parámetro B está estimado en 3,0644 y $K=0,004666$.

En la ecuación de *Von Bertalanffy* el parámetro M toma un valor fijo de 3. Su ajuste global es, junto al de la ecuación de *Gompertz*, el mejor de las biológicas. El peso asintótico estimado ha sido de 924,9 Kg y el parámetro M presenta el valor más bajo de todas las curvas biológicas (0,703).

La última ecuación analizada, la de *Richards*, no presenta un buen ajuste. El parámetro M estimado es inferior al de la logística generalizada (3.647), en cambio K es ligeramente superior (0.019). En cuanto al peso asintótico el valor obtenido (454.7 Kg) ha sido inferior al de las demás curvas de este grupo.

A la curva de *Richards* se le puede considerar como el caso más general de las ecuaciones biológicas, así como la de mayor coste computacional, no solo por tener que estimar 4 parámetros, sino también por la elevada correlación existente entre los parámetros (Brown y et al., 1976; DeNise y Brinks, 1985; Beltran et al., 1992). Este hecho puede ser el responsable de que no haya sido posible encontrar una convergencia en el proceso iterativo de estimación, y como consecuencia una mal bondad de

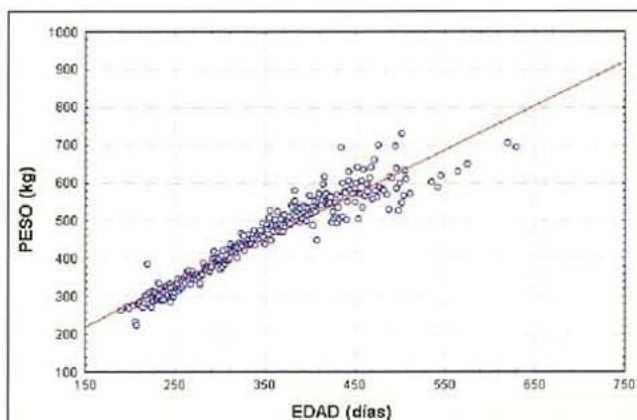
Figura 1. Curvas polinómicas analizadas en la raza Retinta junto con los parámetros obtenidos, su bondad de ajuste y su representación gráfica

Ecuación Lineal

$$P = 45,1 + 1,168E$$

Peso estimado a 365 d: 471,6 Kg

$$R^2_{\text{ajd}}: 0.774$$

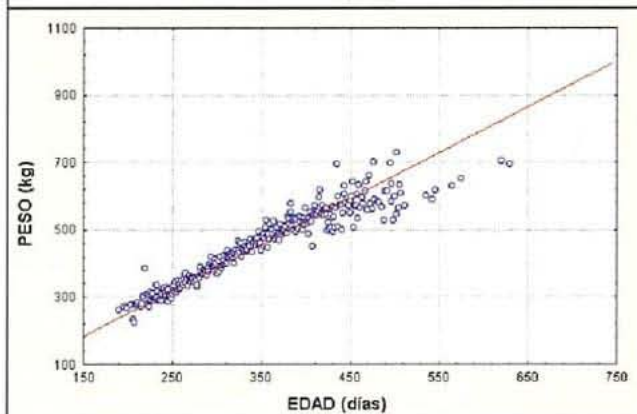


Ecuación Cuadrática

$$P = 20,1 + 1,36E + 0,000004E^2$$

Peso estimado a 365 d: 476,8 Kg

$$R^2_{\text{ajd}}: 0.773$$



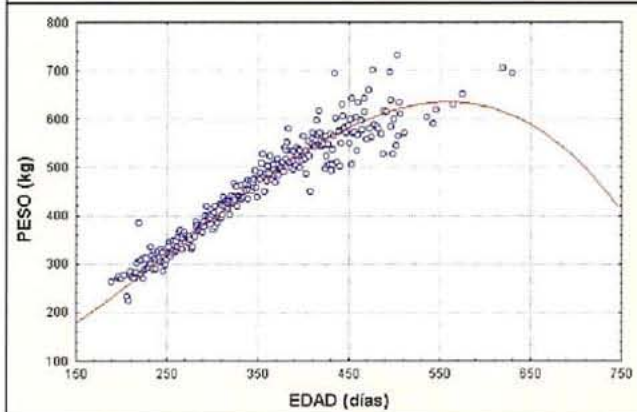
Ecuación Tercer Grado

$$P = 54,6 + 0,259X + 0,0046E^2 - 0,0000058E^3$$

Peso estimado a 365 d

484,9 Kg

$$R^2_{\text{ajd}}: 0.771$$



Ecuación Cuarto Grado

$$Y = 42,0 + 0,853E - 0,0004E^2 + 0,000009E^3 - 0,00000001E^4$$

Peso estimado a 365 d: 692,7 Kg

$$R^2_{\text{ajd}}: 0.771$$

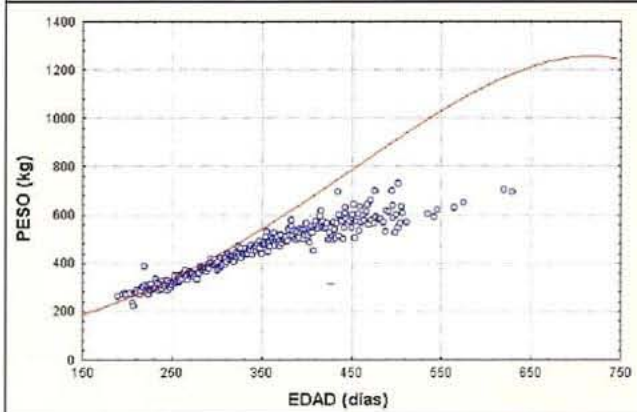


Figura 2. Curvas biológicas junto con los parámetros obtenidos, su bondad de ajuste y su representación gráfica

Ecuación Logística generalizada

$$y = 731.4(1 + \exp(-0.0063E))^{-4.296}$$

Peso estimado a 365 d: 486,5Kg

$$R^2_{\text{ajd.}}: 0,748$$

Ecuación de Brody

$$y = 1050 - 1027,413e^{-0,0015 E}$$

Peso estimado a 365 d: 457,2 Kg

$$R^2_{\text{ajd.}}: 0,710$$

Ecuación de Gompertz

$$y = 833,1 \exp(-3,064e^{-0,0047E})$$

Peso estimado a 365 d: 476,2 Kg

$$R^2_{\text{ajd.}}: 0,758$$

Ecuación Von Bertalanffy

$$Y = 924,9(1 - 0,7031e^{-0,0034E})^3$$

Peso estimado a 365 d: 740,4 Kg

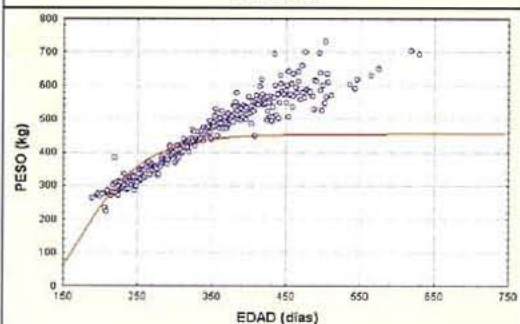
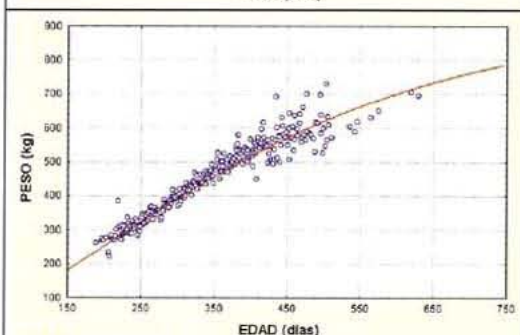
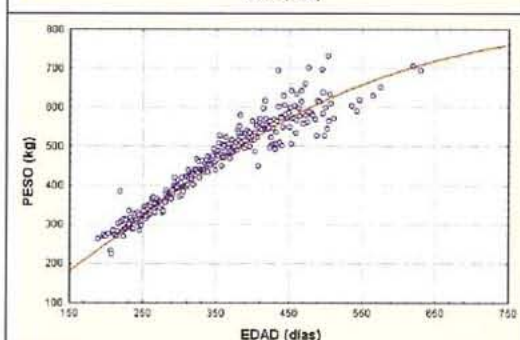
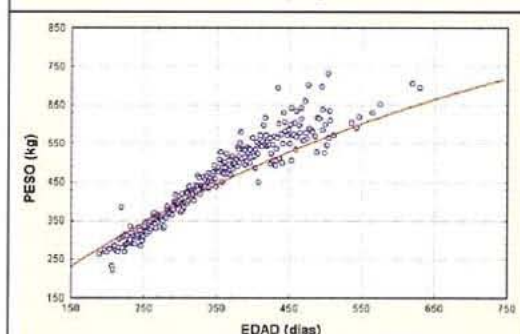
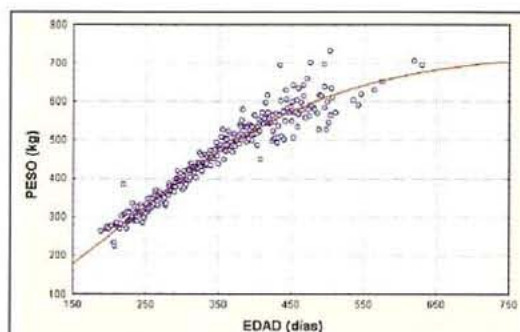
$$R^2_{\text{ajd.}}: 0,755$$

Ecuación Richards

$$P = 454,72(1 - 7,154e^{-0,019E})^{3,65}$$

Peso estimado a 365 d: 442,7

$$R^2_{\text{ajd.}}: 0,345$$



ajuste ($R^2_{adj.}=0.345$). Lo que explicaría la contradicción aparentemente con los resultados de diversos autores como Brown *et al.* (1976) que afirman que es la que mejor se ajusta en toda la curva o sólo hasta los 12 primeros meses (DeNise y Brinks, 1985; Beltran *et al.*, 1992), y lo mismo entre los 12 y 24 meses (Beltran *et al.*, 1992).

3. Otras curvas utilizadas en la bibliografía

Dentro de este apartado hemos agrupado tres curvas utilizadas con relativa frecuencia para describir el crecimiento del vacuno de carne. Se incluye una curva *exponencial*, una *parabólica* y una *logística*.

Las dos primeras han presentado un buen ajuste ($R^2_{adj.}=0,771$ y $0,772$ respectivamente) aunque gráficamente se observa que no presentan la forma típica que las caracteriza, mostrando una clara tendencia a la linealidad.

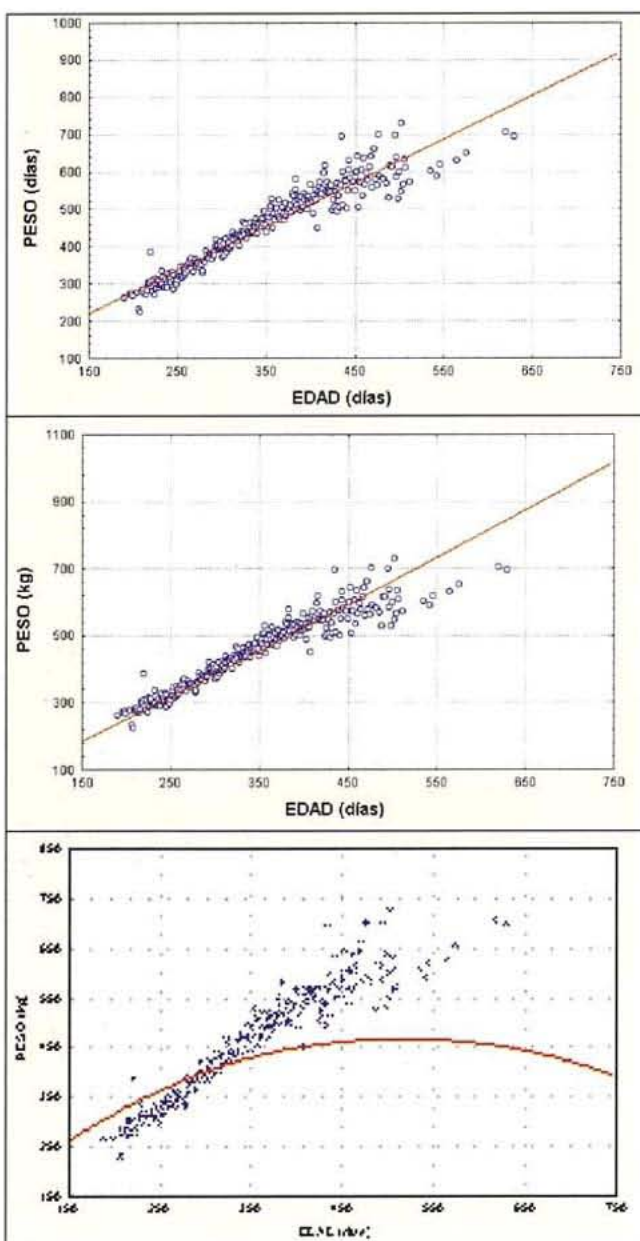
La tercera ecuación (*logística*) presenta un ajuste ($R^2_{adj.}=0,55$), como se aprecia gráficamente en la figura 3.

En cuanto al ajuste a los 12 meses, las dos primeras ecuaciones subestiman ligeramente el peso a los 365 días, habiéndose obtenido 471 y 476 Kg respectivamente, mientras que la logística presenta un valor aún inferior.

En la ecuación logística destacan dos parámetros que se pueden interpretar biológicamente, el peso final (o peso asintótico) que en nuestro caso ha sido estimado en 646,6 Kg y K que expresa la relación entre el peso ganado por el

Figura 3. Otras curvas analizadas junto con los parámetros obtenidos, su bondad de ajuste y su representación gráfica

<p>Ecuación Exponencial</p> <p>$P=45,1(1-e^{(-0,16000000E)})+1,168E$</p> <p>Peso estimado a 365 d.: 471,6 Kg</p> <p>$R^2_{ajd}: 0,771$</p>
<p>Ecuación Parabólica</p> <p>$P=0,917E^{1,06}$</p> <p>Peso estimado a 365 d.: 476,6 Kg</p> <p>$R^2_{ajd}: 0,772$</p>
<p>Ecuación Logística</p> <p>$y=646,6/(1+(5,517 \exp(0.00001E^2-0.01033E)))$</p> <p>Peso estimado a 365 d.: 434,1 Kg</p> <p>$R^2_{ajd}: 0,553$</p>



animal desde el nacimiento hasta su peso máximo y el peso al nacimiento, es decir, el número de veces que se tiene que aumentar el peso al nacimiento para alcanzar el peso asintótico. En nuestro caso el valor obtenido de 5,517, indicaría un valor claramente subestimado. En el caso del peso asintótico estimado (646,6) estaría más próximo a la realidad (aunque probablemente subestimado).

En general se puede observar una bondad de ajuste moderadamente alta, con respecto a otros estudios similares, si bien este hecho es debido a que el ajuste ha sido realizado utilizando todos los controles a diferentes edades de todos los animales, incluyendo por tanto la desviación del peso medio de la población en control al valor estimado por la curva además de la variabilidad de los pesos individuales a este valor medio.

Por otra parte en la mayoría de las ecuaciones se produce una subestimación del peso real a los 12 meses, probablemente debido al hecho de que se hayan incluido también los diferentes pesos de los animales desde el nacimiento hasta el destete, con una GMD menor a la obtenida posteriormente en cebo (nos encontraríamos probablemente en una situación en que existen dos periodos diferenciados de crecimiento, con diferentes pendientes, pero dentro de los cuales existe una cierta constancia de esta ganancia media diaria).

Si comparamos el valor de nuestros parámetros en la curva de Von Bertalanffy con los obtenidos por Carrijo y Moura, (1999) en ganado de Razas Nelore y Chianina observamos que el peso a la madurez (A) fue de 312,8 y 751,3 Kg respectivamente encontrándose nuestro valor más próximo a la raza Chianina. El valor de la constante de integración (B) que obtuvieron fue de 0,49 y 0,59 respectivamente, inferior en ambos casos al de la raza Retinta (0,703) lo que indicaría que presenta un mayor índice de crecimiento al nacimiento. El rango de madurez obtenido por estos investigadores (K) fue de 0,13 y 0,10 para las dos razas respectivamente, en ambos casos inferior al obtenido en este trabajo en esta curva que ha sido 0,0034.

CONCLUSIÓN

Las curvas que presentan un mejor ajuste, para el crecimiento de los terneros Retintos durante la fase de cebo, han sido las polinómicas. Como consecuencia de nuestros estudios, recomendamos la ecuación lineal a efectos prácticos de tipificación a edades fijas o de estudios de correlación con otras variables relacionadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Azor, P. J.; Jiménez, J.M.; Valera, M.; Salado, F.; Álvarez, F.; Pérez, J.A.; Molina, A. 2004. Terneros de raza retinta en cebadero: Análisis individual y por lotes. FEAGAS, Vol. 25, pp: 67-74.
- Beltrán, J. J., Butts, W. T., Olson, T. A., y Koger, M. 1992. Growth patterns of two lines of Angus cattle selected using predicted growth parameters. *J. Anim. Sci.* 70: 734-741.
- Berlanga, E. 1996. "Estimación de la curva de crecimiento en vacuno Retinto: Aspectos prácticos para la tipificación de pesos". Tesina de Licenciatura. Universidad de Córdoba.
- Berlanga, E., Molina, A., Luque, A., Delgado, J.V.; Salado, F. 1995. "Estimación de la curva de crecimiento en vacuno Retinto desde el nacimiento hasta el destete". *Archivos de Zootecnia*. vol. 44: 179-192.
- Bertalanffy, L. Von. 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. *Quart. Rev. Biol.* 32: 217.
- Bliss, C. I. 1970. *Statistics in Biology*. Vol. II. McGraw-Hill Book Company.
- Brody, S. 1945. *Bioenergetics and Growth*. Reinhold Publ. CO., New York. 1023 p.
- Brown, J. E., Brown, C. J.; Butts, W. T. 1976. Relationships among weights, gains and earliness of maturing in Hereford and Angus females. *J. Anim. Sci.* Vol 35, nº3.
- Carrijo, S. y Moura, F., 1999. Description and comparison of growth parameters in Chianina and Nelore cattle breeds. *Gen. Mol. Biol.* Vol. 22, n.2.
- DeNise, R. S. K.; Brinks, J. S., 1985. Genetics and environmental aspects of the growth curve parameters in beef cows. *J. Anim. Sc.* Champaign, v.67, n.6, p. 1432-1445.
- Duarte, F. A. M., 1975. Estudio da curva de crescimento de animais da raça Nelore (*Bos taurus indicus*) através de cinco modelos estocásticos. 284 p. Tese (Livro-Docência). Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto.
- Elías, M.A., 1998. Análise de las curvas de crecimiento de vacas das raças Nelore, Guzerá e Gir. 128 f. Dissertação (Mestrado en Zootecnia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Fitzhugh, H. A. 1976. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *J. Anim. Sci.* Vol. 42: 1036-1051, nº4.
- Fonseca, F.; De Aquino, L.; Gomes, A. 2001. Influencia de factores genéticos e ambientais sobre as estimativas dos parâmetros das funções de crescimento em gado Nelore. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, 25:1195-1205.
- Laird, A. 1966. Postnatal growth of birds and mammals. *Growth* 30: 349.
- Luque, A., Molina, A., Berlanga, E., Delgado, J.V., y Jiménez, J.M., 1995 "Análisis de los factores que afectan a la curva de crecimiento del ganado vacuno Retinto hasta el destete". *Archivos de Zootecnia*, vol. 44: 193-203.
- Menchaca, M.A., C.C. Chase Jr, T.A. Olson and A.C. Hammond. 1996. Evaluation of growth curves of Brahman cattle of various frame sizes. *J. Anim. Sci.* 74:2140-2151.
- Nelder, J.A. 1961. The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*, 17: 89
- Nobre, P.R.C.; Rosa, A.N.; Silva, L.O.C.; Evangelista, S.R.M. 1987. Curvas de crescimento de gado Nelore ajustadas para diferentes frequências de pesagens. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 22, n. 9/10, p. 1027-1037, set/out.
- Richards, F. J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Bot.* 10: 290-300.