

CIRCUNFERENCIA ESCROTAL COMO PREDICTOR DE LA CAPACIDAD REPRODUCTIVA EN RAZAS DE VACUNO DE CARNE AUTÓCTONO: CURVAS DE CRECIMIENTO EN EL VACUNO RETINTO

SCROTAL CIRCUMFERENCE AS INDICATOR OF REPRODUCTIVE PERFORMANCE IN
AUTHOCTONOUS BEEF CATTLE: GROWTH CURVE ANALYSIS IN RETINTO BULLS

Delgado, C.¹, M. Valera¹, A. Molina¹, J. M. Jiménez² y A. Rodero¹

¹Departamento de Genética. Facultad Veterinaria. Universidad Córdoba. Avda. Medina Azahara s/n. 14005. Córdoba. España

²Centro Experimental Agrícola Ganadero. Carretera de Arcos de la Frontera km 8. Jerez de la Frontera. 11406 Cádiz. España.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Parámetros reproductivos. Vacuno de carne. Diámetro escrotal.

ADDITIONAL KEYWORDS

Reproductive parameters. Scrotal diameter. Beef cattle.

RESUMEN

En el vacuno de carne se estima que los caracteres productivos como el peso o la velocidad de crecimiento de los animales, tienen una importancia 10 veces menor que los reproductivos en términos de valor económico relativo. Dentro de estos caracteres reproductivos, destaca en el caso de los sementales, la circunferencia escrotal (CE), que ha sido propuesta como predictor de las características seminales y de la libido del macho (Knights *et al.*, 1984), así como de la edad a la pubertad de su descendencia (Brinks *et al.*, 1978).

Para el estudio de la curva de crecimiento de la circunferencia escrotal desde el destete hasta los 16 meses en el vacuno de carne de raza retinta, se han realizado 1020 mediciones en 281 animales pertenecientes a 20 ganaderías del Núcleo de Control de Rendimientos del Plan de Mejora de esta raza.

Los resultados obtenidos para la CE muestran un amplio rango (16-42 cm) y un elevado coeficiente de variación (17,32 p.100) para toda la población analizada. El análisis de la CE en los animales de un año de edad, hizo descender este coeficiente al 9,1 p.100 siendo en este caso la media de 34,38 cm, claramente superior a los mínimos recomendados por el BIF americano.

Para la determinación de la curva de la circunferencia escrotal en función de la edad, se ha realizado el análisis de 15 curvas clasificadas en 4 grupos. El primer grupo (denominadas generales) está constituido por dos curvas exponenciales y una parabólica, el segundo grupo por tres curvas logísticas, el tercero por cinco curvas biológicas, para terminar con el estudio de las polinomiales desde la lineal a polinómica de cuarto grado.

De las curvas estudiadas la que mejor ajuste

Arch. Zootec. 49: 229-240. 2000.

obtuvo fue la logística nº 2 ($R^2_{adj} = 0,892$), seguida de la curva biológica de Gompertz ($R^2_{adj} = 0,892$). Considerada además del R^2_{adj} la estimación al año, y dada la mayor facilidad de cálculo, consideramos que la polinomial de 2º grado, presenta un ajuste equivalente ($R^2_{adj} = 0,891$), facilitando así su utilización en los procesos de tipificación a la edad de un año en el Plan de Mejora de esta raza.

SUMMARY

In beef cattle it is estimated that quantitative performance of production, as growth or weight in the animals, are ten times less important than the reproductive performance in terms of relative economic value. Within these reproductive traits, scrotal circumference (CE) is especially notable and has been suggest as an indicator of seminal performance and male libido (Knights *et al.*, 1984), as well as age at puberty of offspring (Brinks *et al.*, 1978).

In studying the growth curve of the scrotal circumference from the weaning to 16 months old in beef cattle, 1020 measurements were taken in 281 animals from 20 farms belonging to the Nucleus of Control of Performance in the Improvement Program for the Retinta beef cattle.

The results obtained in this study show a wide range (16-42 cm) and a high coefficient of variation (17.32 percent) for the total population. The CE analysis in one year old animals lowered the coefficient to 9.1 percent, with a mean (34.38 cm), much higher than those recommend by the American BIF.

To determine the CE curve with age, 15 curves classified in 4 group were analysed. The first group is comprised of two exponential and parabolic curves, the second group was composed of three logistic curves, the third of five biological curves, and finally the last group the polynomials to a fourth degree.

The highest of the curves studied was the logistic number 2 ($R^2_{adj} = 0.892$), followed by the Gompertz biological curve ($R^2_{adj} = 0.892$). Taking

also the predicted value at one year age, and calculating easily, we consider that the polynomial in the 2nd degree shows a like curve ($R^2_{adj} = 0.891$), thus making this curve useful at the age of one year prediction in the Improvement Programs for this breed.

INTRODUCCIÓN

La producción de carne bajo condiciones ecológicas exige la utilización de razas autóctonas de gran rusticidad y fuerte adaptación al medio. Esta vuelta a los sistemas tradicionales está dando un protagonismo a las razas autóctonas españolas de fuerte implantación en los distintos ecosistemas propios. En el vacuno de carne se estima que los caracteres de producción cuantitativa, especialmente los que se refieren al crecimiento, pesos y ganancia de peso de los animales, tienen una importancia 10 veces menor, que los reproductivos en términos de valor económico relativo, siendo por lo tanto fundamentales para la rentabilidad de la explotación los caracteres relacionados con la eficiencia reproductiva. Dentro de estos caracteres reproductivos, destaca la circunferencia escrotal (CE), en el caso de los sementales que ha sido propuesta como predictor de las características seminales y de la libido del macho (Knights *et al.*, 1984), así como de la edad a la pubertad de su descendencia (Brinks *et al.*, 1978).

Además, este carácter cumple los requisitos exigibles a cualquier variable para ser considerada como criterio de selección dentro de un programa de Mejora: es un parámetro de aparición temprana en la vida del animal, fácil de

CIRCUNFERENCIA ESCROTAL EN EL VACUNO RETINTO

medir y con un mínimo coste y dificultad técnica (Hahn *et al.*, 1969), destacando además por su alta repetibilidad (Hahn *et al.*, 1969) y su moderada a alta heredabilidad (Coulter and Foote, 1979; Latimer *et al.*, 1982 y Knihts *et al.*, 1984). Todo esto ha hecho que sea considerado un carácter interesante de seleccionar dentro de los planes de mejora del vacuno de carne.

Todo esto nos hizo plantearnos el análisis de la Circunferencia Escrotal (CE) como parámetro de interés dentro de la selección del vacuno de carne autóctono de raza Retinta, comenzando por caracterizar la población en relación a otras razas especializadas y

su evolución desde el destete hasta los 16 meses de edad.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para este estudio se han realizado 1020 mediciones en 281 animales nacidos entre el año 1991 y 1997 y pertenecientes a 20 ganaderías del Núcleo de control del Plan de Mejora de la raza retinta. Con la finalidad de caracterizar la curva de crecimiento de la CE, estas medidas fueron realizadas a diferentes edades, desde el destete hasta los 16 meses de edad.

La medida de la circunferencia escrotal se realizó siguiendo la metodología dada por la *Sociedad Americana de Teriogenología Veterinaria* para el Estudio de la Evaluación Reproductora. Para contrastar la repetibilidad de la técnica, alrededor del 60 p.100 de las mediciones se realizaron por duplicado, realizándose las dos mediciones en el mismo día (determinando un total de 1633 medidas de circunferencia escrotal). Una vez evaluada esta, el resto de análisis estadísticos fueron llevados a cabo utilizando la media de estas dos medidas.

Se han estudiado las principales curvas crecimiento descritas en la bibliografía. Bajo el epígrafe de *Curvas Generales* se han agrupado dos curvas exponenciales y una curva parabólica (**tabla I**), caracterizadas por el parámetro *A*, crecimiento asintótico de la CE, *k*, índice de madurez del animal, y un parámetro *B*, relacionado con los cambios tempranos de CE (*D*, edad del animal en días). Dentro del grupo de las *Curvas Logísticas*, se han analizado tres curvas (**tabla I**),

Tabla I. Relación y ecuación de las diferentes curvas analizadas. (Relation of different curves studied).

Curvas-Modelo	Ecuación
Exponenciales	
Exponencial 1	$CE = B \cdot e^{-k \cdot D}$
Exponencial 2	$CE = A \cdot (1 - e^{-k \cdot D})$
Parabólica	$CE = A \cdot (D^k)$
Logísticas	
Nº1	$CE = A \cdot (1 + e^{-k \cdot D})^{-1}$
Nº2	$CE = A / (1 + ((A - P_0) / P_0) e^{-k \cdot D})$
Generalizada	$CE = A \cdot (1 + B \cdot e^{-k \cdot D})^{-M}$
Biológicas	
Brody	$CE = A \cdot (1 - B \cdot e^{-k \cdot D})$
Gompertz nº 1	$CE = A \cdot e^{-B \cdot e^{-k \cdot D}}$
Gompertz nº 2	$CE = P_0 \cdot e^{L/a \cdot (1 - e^{-k \cdot D})}$
Von Bertalanffy	$CE = A \cdot (1 - B \cdot e^{-k \cdot D})^3$
Richards	$CE = A \cdot (1 - B \cdot e^{-k \cdot D})^M$
Polinómicas	
Lineal	$CE = a + b \cdot D$
Cuadrática	$CE = a + b \cdot D + c \cdot D^2$
Cúbica	$CE = a + b \cdot D + c \cdot D^2 + d \cdot D^3$
Cuártica	$CE = a + b \cdot D + c \cdot D^2 + d \cdot D^3 + e \cdot D^4$

las cuales tienen en común el hecho de que la velocidad de crecimiento de la CE disminuye de forma inversa simple con la edad del animal. En este caso, el parámetro P_0 , está relacionado con la CE estimada al nacimiento. En la tercera ecuación, conocida como logística generalizada (Nelder, 1961), M representa el parámetro de forma de la curva y permite un punto de inflexión variable.

Las *Curvas Biológicas* son denominadas así por parámetros que pueden ser interpretados biológicamente (**tabla I**). En estas curvas aparecen tres parámetros biológicos importantes: A, que establece la posición del individuo o del grupo dentro del posible rango de medidas a una determinada edad, generalmente la madurez, K, el índice de crecimiento relativo a la CE a la madurez, y el punto de inflexión de la curva, que definiría un cambio en la curva de una fase de *autoaceleración* hacia otra fase de *autoinhibición* dentro de la típica curva sigmoidea.

La primera ecuación biológica descrita es la ecuación de Brody (Brody, 1945), un caso particular de la ecuación de Richards donde el parámetro de forma de la curva, M, toma el valor de 1. En las ecuaciones de Gompertz (Laird, 1966), los parámetros que la definen son: L parámetro relacionado con la pendiente de la curva; a índice de declinación del crecimiento de la CE; A es la CE asintótica del animal, definida por $P_0 e^{L/a}$; y B, es el parámetro relacionado con los cambios tempranos de CE (equivalente a L/a). La cuarta ecuación biológica es la ecuación de Von Bertalanffy (Bertalanffy, 1957), también considerada caso particular de la ecuación de Richards don-

de el parámetro M toma el valor de 3. 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.

Por último hemos incluido en este análisis las curvas polinómicas (hasta el 4º grado), por ser las más utilizadas para describir el crecimiento de la CE desde el nacimiento al destete. En este caso los parámetros que caracterizan las curvas serán: a la ordenada en el origen (estimación de la CE al nacimiento), b la pendiente media de la curva (estimación del crecimiento de la CE desde el nacimiento a la edad máxima) y c, d y e los parámetros que determinan la desviación de la linealidad en los polinomios de 2º, 3º y 4º grado.

Estos análisis estadísticos se realizaron mediante el procedimiento Means, Univariate, Corr, Reg, Nlin y Gln del paquete estadístico SAS (*Statistical Analysis System*) v. 6.0 y el Statistica for windows v. 5.0. Para la obtención del ajuste global de estas curvas, se utilizó el algoritmo DFA (*Derivate Free Algorithm*) del procedimiento PROC NLIN del paquete estadístico S.A.S.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La circunferencia escrotal de los machos está considerada un buen indicador del potencial reproductivo en el vacuno de carne, dada la alta correlación con la producción espermática total (Hahn *et al.*, 1969), y la calidad espermática (Brinks *et al.*, 1978). Adicionalmente diversos trabajos han

CIRCUNFERENCIA ESCROTAL EN EL VACUNO RETINTO

Tabla II. Principales estadísticos de la muestra analizada para las variables Circunferencia escrotal, peso, edad y relación circunferencia/peso. (Basic statistics for scrotal circumference, weight, age and circumference/weight relation variables in the sample analysed).

	N	Mínimo	Media±s.e.	Máximo	C.V. (p.100)
C.E.	1020	16,10	30,66±0,166	42,00	17,32
Peso	1020	162,00	429,81±3,716	720,00	27,61
Relación	1020	0,05	0,074±0,0359	0,11	15,49
Edad	1020	155,00	334,95±2,537	504,00	24,20

demostrado una fuerte relación inversa con la edad a la pubertad en el macho (Brinks *et al.*, 1978; Lunstra, 1982 y King *et al.*, 1983) y una elevada correlación genética con la edad a la pubertad de sus hijas (Toelle and Robison, 1985), teniendo además la ventaja de presentar una heredabilidad moderada a alta (Coulter and Foote, 1979; Latimer *et al.*, 1982 Neely *et al.*, 1982 y Knights *et al.*, 1984), frente a la baja heredabilidad de la edad a la pubertad, tanto en machos como en hembras, siendo además mucho más fácil de medir que esta última. Todo esto ha hecho que en la mayoría de planes de mejora del vacuno especializado en la producción cárnica se incluya como un criterio de selección (BIF, 1996).

Los responsables técnicos de Esquema de selección del vacuno de carne de raza Retinta han estimado que es el momento de realizar un análisis de esta variable con vistas a realizar una valoración genética de los reproductores e incorporarlo al resto de fases del esquema de selección. En este trabajo nos centraremos en el estudio de la evolución de la circunferencia escrotal con la edad del animal.

Previamente realizamos un análisis

de comparación entre las medidas duplicadas realizadas a los animales que dio como resultado unas diferencias en valor absoluto medias de $0,127 \pm 0,005$ cm, con una diferencia máxima entre ambas medidas de 0,9 cm. Estos valores expresados en porcentaje suponen un $0,46 \pm 0,021$ p.100 y $3,85$ p.100 respectivamente para la media y el valor de desviación máximo. Si a estos resultados le añadimos que el coeficiente de correlación entre ambas medidas obtenido fue de $0,999^{***}$, valor del mismo orden de magnitud al obtenido por Hahn *et al.*, 1969, podemos concluir que la repetibilidad de la medición sea muy buena, haciendo innecesario la toma de la medida por duplicado. Por lo tanto el resto de análisis estadísticos llevados a cabo fueron realizados utilizando como valor de circunferencia escrotal la media de las mediciones duplicadas.

En la **tabla II**, podemos observar los principales estadísticos de la muestra analizada para las variables Circunferencia Escrotal (cm), Peso (kg.) y Edad (días) de los animales en el momento de la medida, así como de la Relación entre la circunferencia escrotal y el peso del animal (cm/kg):

Los resultados obtenidos para la circunferencia escrotal muestran un amplísimo rango de variación de 26 cm (entre los 16 y los 42 cm) y un elevado coeficiente de variación (17,3 p.100), si bien tenemos que tener en cuenta que los valores corresponden a animales de edades comprendidas entre los 6 y los 16 meses (con una edad media de 335 días). Si hacemos el análisis exclusivamente para la medida de la circunferencia escrotal a los 12 meses de edad este coeficiente de variabilidad desciende hasta el 9,1 p.100. Parecida consideración podemos realizar en relación con la media obtenida para la circunferencia escrotal ($30,66 \pm 0,166$), ya que si realizamos el análisis exclusivamente con animales de 12 meses, la media obtenida de $34,38 \pm 0,14$, es

claramente superior a los mínimos generales recomendados para los reproductores por la *Beef Improvement Federation* Americana (B.I.F., 1996) para diversas razas especializadas de vacuno de carne.

En la **figura 1** presentamos el histograma de frecuencia de esta variable CE para toda la población analizada (A) y para los animales de 12 meses de edad (B).

El histograma para la CE de los animales a los doce meses de edad presenta obviamente un menor rango. Podemos observar como de forma global presenta un buen ajuste a la distribución normal, con una frecuencia máxima entre los 30 y los 35 cm, coincidente con la obtenida por Coulter *et al.* (1987), Smith (1988), o el BIF (1996) americano.

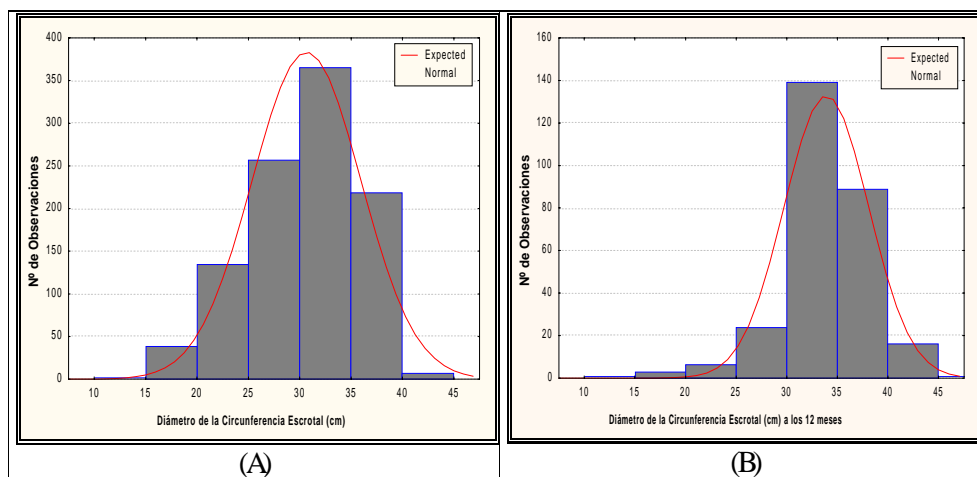


Figura 1. Histograma de frecuencias de la variable Circunferencia escrotal del vacuno Retinto desde el destete hasta los 16 meses de edad (izquierda) y para los animales de un año de edad (derecha). (Histogram of frequencies for the scrotal circumference variable in Retinto beef cattle from weaning to 16 months of age (left), and for yearlings animals (right)).

CIRCUNFERENCIA ESCROTAL EN EL VACUNO RETINTO

ANÁLISIS DE LA CURVA DE CRECIMIENTO DE LA CE

Los resultados obtenidos para los 4 grupos de curvas analizadas se presenta en la **tabla III**.

CURVAS GENERALES

Como se puede observar en la tabla anterior el ajuste va desde un $R^2_{Adj} = 0,804$ de la Exponencial 1 al $R^2_{Adj} = 0,8796$ de la Exponencial 2. La curva parabólica si bien presenta una subestimación en los primeros tramos de vida del animal (CE estimada al naci-

miento= 0,9 cm) y una evidente sobrestimación en etapas más tardías (CE estimada a la madurez= 59 cm), presenta un buen ajuste en el periodo analizado. La exponencial nº 1, presenta una ligera sobrestimación en las primeras etapas, con una CE estimada al nacimiento de 16,56 cm, y una evidente sobrestimación en las últimas etapas de la vida del animal (CE estimada a la madurez de 97,75 cm). La tercera curva (exponencial nº 2) es la que presenta el mejor ajuste de las tres, con una subestimación en los primeros meses de vida (CE al nacimien-

Tabla III. Relación de curvas generales, logísticas, biológicas y polinómicas analizadas, junto con los parámetros obtenidos y el ajuste global medido por el R^2_{Adj} (Parameters obtained for the general, logistic, biological and polinomial curves analysed along with the overall adjustment measured by R^2 adjusted).

MODELO	ECUACIÓN	R^2_{Adj}
GENERALES		
Exponencial 1	$CE=16,53402.e^{-(0,001777).D}$	0,80434
Exponencial 2	$CE=49,58990(1-e^{-0,002937.D})$	0,87964
Parabólica	$CE=0,90878(D)^{0,605135}$	0,86059
LOGISTICAS		
Nº 1	$CE=38,4903(1+e^{-0,004148.D})^{-1}$	0,6042
Nº 2	$CE=37,944889/(1+(37,94489-4,836432)/4,836432)e^{-0,010670.D}$	0,8921
Nº 3	$CE=38,61143(1+2,305213e^{-0,009439D})^{-2,021984}$	0,8903
BIOLÓGICAS		
BRODY	$CE=40,80533(1-1,506180.e^{-0,005676.D})$	0,8907
GOMPERTZ 1	$CE = 38,91903 e^{-3,2145598 e^{-0,008238.D}}$	0,8920
GOMPERTZ 2	$CE = 0,159956e^{0,088305/Q016233(1-e^{-0,011018.D})}$	0,8808
BERTALANFFY	$CE=39,43425(1-0,828479.e^{-0,007373.D})^3$	0,8917
RICHARDS 1	$CE=39,34441(1-1,007860.e^{0,007323.D})^{2,373483}$	0,8897
POLINÓMICAS		
LINEAL	$CE=11,43824+0,056474.D$	0,8407
CUADRÁTICA	$CE=-5,59072+0,166128.D-0,000164.D^2$	0,8907
CÚBICA	$CE=-11,9639+0,229519.D-0,000363.D^2+0,00000019852.D^3$	0,8894
CUÁRTICA	$CE=20,29531-0,208225.D+0,001771.D^2-0,0000042435.D^3+0,0000000033448.D^4$	0,8889

to = 0,14) y una menor sobrestimación de la CE en la madurez (CE asintótica de 49,59 cm). En cuanto a K, cociente entre el valor de crecimiento máximo y la CE en la madurez, nuestros resultados muestran un amplio rango de variación, oscilando entre los 0,605 de la parabólica a los -0,0017 de la exponencial nº 1.

CURVAS LOGÍSTICAS

Como se observa en la tabla anterior, estas curvas presentan un buen ajuste relativo salvo en el caso de la logística nº 1 que presenta el menor coeficiente determinativo de todas las analizadas ($R^2_{Adj} = 0,604$). La logística nº 1, presenta una evidente sobrestimación de la circunferencia escrotal desde el nacimiento hasta casi los 8 meses de edad. A partir de este momento el ajuste es mucho mejor, presentado una CE asintótica en torno a los 38,5 cm. La logística nº 2, posee uno de los coeficientes determinativos más elevados de todas las curvas estudiadas ($R^2_{Adj} = 0,892$) presentando un ajuste muy bueno durante toda la vida del animal, con una CE al nacimiento ligeramente subestimada (en torno a los 5 cm de circunferencia) y con un buen ajuste en la madurez CE = 38 cm. Según este resultado el animal debe aumentar esta circunferencia alrededor de 6,8 veces la circunferencia al nacimiento hasta alcanzar la CE estimada a la madurez. La logística generalizada presenta también un magnífico ajuste ($R^2_{Adj} = 0,890$), con una CE estimada al nacimiento en torno a 3,5 cm, ligeramente inferior al estimado por la curva anterior, y una circunferencia en la madurez cercana a los 38,5 cm.

En este tipo de curvas el índice de madurez de la CE (K), ha oscilado entre el valor de la Logística 2 (0,011) y el de la Logística 1 (0,004), siendo del mismo rango de magnitud los valores de K de la logística 2 y 3. El parámetro B, que expresa la relación entre el crecimiento de la CE ganado por el animal desde el nacimiento hasta su CE máxima y la CE al nacimiento, estuvo comprendido entre los 2,3 veces de la logística 3 y los 6,8 de la logística 2. En cuanto al parámetro M (parámetro que define el punto de inflexión variable) éste ha sido de 2,02 para la logística 3, determinando así un punto de inflexión a los 17,13 cm alcanzado con una edad de 75 días. Sin embargo, en el caso de la logística 2 este punto de inflexión no viene definido por el valor de M, sino que es un valor fijo que en nuestro estudio fue alcanzado a los 118 días con 18,97 cm.

CURVAS BIOLÓGICAS

Son curvas generalmente complejas y de elevado coste computacional debido al elevado número de parámetros a estimar. Generalmente se incluyen en esta definición 4 modelos: la ecuación de Gompertz, la de Von Bertalanffy, la de Brody y la de Richards, siendo considerada esta última una generalización de las demás. Para algunos autores la curva logística generalizada que hemos visto anteriormente también se podría incluir en este apartado.

En el caso de la ecuación de Richards, presenta un ajuste bastante bueno aunque ligeramente inferior a dos de las logísticas anteriores. El parámetro M estimado es ligeramente superior a la logística generalizada (M =

2,37). En cambio B (1,008) es bastante inferior y k (0,007) del mismo orden de magnitud. Sin embargo el peso asintótico es algo superior (unos 39 cm), mientras que la CE al nacimiento esta muy subestimada. Por último, se ha obtenido para esta curva un punto de inflexión a los 10,74 cm de CE, alcanzado a una edad de 119 días.

La primera ecuación de Gompertz, presenta un R^2_{Adj} semejante al de la curva anterior con una subestimación de la CE al nacimiento menos evidente pero en torno a 1,5 cm. B es aún superior a la de Richard (y al resto de Biológicas), mientras que K es semejante. La CE asintótica estimada esta en torno a los 39 cm, semejante a la de Richards y Von Bertalanffy, ligeramente inferior a Brody y algo superior a las logísticas, mientras que su punto de inflexión has sido alcanzado a los 141 días con 14,32 cm.

La segunda ecuación de Gompertz, presenta como parámetros $L= 0,083$ (parámetro relacionado con la pendiente de la curva), $K= 0,011$ y $a= 0,016$ (relacionado con el índice de declinación del crecimiento de la CE). Su ajuste es inferior al del resto de curvas biológicas ($R^2_{Adj}=0,88$), siendo K ligeramente superior al resto de biológicas. Por último, P_0 (estima de la CE al nacimiento) también se encuentra muy subestimado (0,16). La CE en la madurez es inferior al resto de curvas biológicas y logísticas (ligeramente inferior a los 37 cm), mientras que su punto de inflexión, se presenta a una edad de 104 días con una CE de 13,5 cm.

En la ecuación de Von Bertalanffy, en la que M toma el valor fijo de 3, se ha obtenido una buena bondad de ajuste, semejante al del resto de biológicas

y logísticas. Presenta también una evidente subestimación de la CE al nacimiento (alrededor de 0,22 cm) al igual que hemos visto para todas las biológicas, igualmente la CE asintótica está cercana a los 39,5 cm, K es semejante al resto de biológicas y logísticas y B es inferior a la de Brody, Gompertz 1, Richards y Logística generalizada, presentando un punto de inflexión a los 11,68 cm alcanzado a los 149 días.

Por último, la ecuación monomolecular de Brody, presenta un R^2_{Adj} semejante a las anteriores ($R^2_{Adj}= 0,891$), con A ligeramente superior al resto de Biológicas (40,80), K inferior (0,006) y B superior (1,506) a todas la biológicas con excepción de la Gompertz 1. En cuanto a la CE al nacimiento presenta un valor francamente subestimado (-20 cm).

CURVAS POLINÓMICAS

Constituyen las curvas de crecimiento más estudiadas en la bibliografía 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 poseen una fácil interpretación. En nuestro estudio hemos analizado solamente hasta el polinomio de 4º grado.

La primera de ellas, la lineal, asume un crecimiento constante a lo largo de toda la vida del animal (con un incremento diario de 0,056 cm diarios). Evidentemente este tipo de curva no presenta asíntota. A pesar de esto, si suele servir para explicar el crecimiento en intervalos más o menos cortos de la vida del animal, siendo la más fácil

de utilizar, y de interpretar. El ajuste global es evidentemente inferior al de la mayoría de curvas analizadas. La CE estimada al nacimiento es de 11,44, superior al de las curvas anteriores, con excepción de la exponencial 1 y la logística 1. La pendiente de la recta obtenida es de 0,056, siendo por tanto necesarios unos 18 días para que se incremente en 1 cm la circunferencia escrotal (de forma global desde el destete hasta pasado el año de edad de los animales).

El ajuste del polinomio de 2º grado es superior, con un $R^2_{Adj.} = 0,891$. No obstante se puede observar como entre los 280 y 320 días existe un cambio de tendencia de la curva, de tal forma que esta se podría descomponer en dos rectas si se localizase exactamente el punto de corte (*breakpoint*). Como era de esperar el ajuste puede ser ligeramente superior en las ecuaciones de 3º y 4º grado. No obstante el escaso rango de magnitud de los coeficientes de tercer y cuarto grado de los polinomios de las ecuaciones cúbica y cuártica, en relación al coeficiente del término lineal, indica una baja desviación global de la linealidad a largo plazo (pe. madurez del animal).

Los objetivos primarios de este ajuste de la curva de crecimiento son básicamente dos: uno descriptivo, donde la información contenida en los distintos puntos crecimiento-edad se resume en muy pocos parámetros; y otro predictivo, donde los parámetros de la curva se pueden utilizar para presunciones muy diversas, tales como velocidades de crecimiento, requerimientos alimenticios, estrategias dentro del marketing, medidas a determinadas edades tipo, etc. Bajo el primer aspecto con-

siderado, son muy escasos los estudios realizados en la estimación de las curvas de crecimiento de la circunferencia escrotal que incluyen curvas no linealizables como la logística o las curvas biológicas.

Desde este primer punto de vista, en nuestro estudio la curva que mejor explica el crecimiento de la circunferencia escrotal en el ganado bovino de raza Retinta es la logística (en concreto la número 2), resultado que concuerda con diversos autores que consideran que esta curva es la que da un mejor ajuste estadístico para el crecimiento postnatal de los animales (Eisen, 1976), o con los estudios de circunferencia escrotal llevados a cabo en vacuno de raza Nellore (Bergmann *et al.*, 1998). En este mismo sentido, Wildeus and Entwistle (1982) analizando el crecimiento testicular describen una forma sigmoide típica de las curvas logísticas. No obstante, otros estudios han demostrado que en general los cuadrados medios residuales obtenidos con las *logísticas*, son más altos que en el caso de los *modelos biológicos* cuando se analiza el crecimiento corporal (Brown *et al.*, 1976). No obstante, como hemos visto anteriormente, nosotros hemos obtenido resultados muy parecidos en muchas de las curvas estudiadas, variando sólo en varias milésimas. Este ajuste semejante entre la mayoría de curvas logísticas y biológicas analizadas está en consonancia con los resultados de Bergmann *et al.* (1998).

Desde el segundo punto de vista, el predictivo, las mayoría de las curvas estudiadas presentan un escaso interés, dado su complejidad de cálculo y la necesidad de realizar varias medidas

CIRCUNFERENCIA ESCROTAL EN EL VACUNO RETINTO

para estimar con suficiente precisión la curva que caracteriza a cada animal y poder estimar por lo tanto la medida de la circunferencia a esa determinada edad (en nuestro caso generalmente al año de vida). Este hecho hace que generalmente se asuma un crecimiento lineal, bien de toda la curva, o bien de un intervalo lo suficientemente restringido para que la desviación de la linealidad no suponga una pérdida de precisión apreciable. En nuestro estudio esta ecuación lineal, si bien ha tenido un ajuste bastante bueno de forma global a largo plazo (periodo superior al año), presenta un coeficiente determinativo inferior a la mayoría del resto de curvas. Si lo comparamos con el resto de ecuaciones polinómicas, es ampliamente superada por todas las curvas (0,8407 frente a la cuadrática que presenta el mejor ajuste de este tipo de curvas con 0,8907).

El mejor ajuste a una ecuación

polinómica de segundo grado está de acuerdo con los resultados de Coulter and Bailey (1988) en la raza Salers y de Trocóniz *et al.* (1991), si bien en ambos trabajos no se ensayaron ecuaciones de tipo logístico ni de tipo *biológico*.

En estos casos la alternativa más eficiente es la determinación de un rango de edades, o tramo de la curva, dentro de la cual se pueda asumir un crecimiento lineal, mediante descomposición de esta curva en dos o más intervalos de crecimiento constante. Esta alternativa es la sugerida por Lunstra *et al.*, (1988) los cuales recomiendan el ajuste lineal para la circunferencia a los 365 días siempre que la medida sea tomada a una edad entre los 300 y 400 días de vida. No obstante, otros autores como Coulter (1988) recomiendan el ajuste basándose directamente en la ecuación polinómica de segundo grado.

BIBLIOGRAFÍA

- Beal, W.E. 1997. The scrotal circumference bandwagon. The Angus Journal. http://www.angus.org/journal/97_08aug/scrotal.htm.
- Bergmann, J.A., C.R. Quirino, V.R. Vale Filho, V.J. Andrade and J.C. Pereira. 1998. Evaluation of four mathematical functions to describe scrotal circumference maturation in Nellore bulls. 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Armidale, Australian.
- Bertalanffy, L. Von. 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. *Quart. Rev. Biol.*, 32: 217.
- BIF, Beef improvement federation. 1996. Guidelines for uniform beef improvement programs.
- Brinks, J.S., M.J. McInerney and P.J. Chenoweth. 1978. Relationship of age at puberty in heifers to reproductive traits in young beef bulls. *Proc. West. Sec. Amer. Soc. Anim. Sci.*, 29: 28-30.
- Brody, S. 1945. Bioenergetics and Growth. Reinhold Publ. CO., NEW York.
- Brown, J.E., H.A. Fitzhug and, T.C. Cartwright. 1976. A comparison of non linear models for describing weight age relationships in cattle. *J. Anim. Sci.*, 42, nº4.
- Coulter, G.H. 1988. Evaluating and Managing the Herdsire for Reproduction. Agriculture Canada Research Station, Lethbridge, Alberta T1J4B1.
- Coulter, G.H. and D.R. Bailey. 1988. Testicular development of Salers bulls to one year of

DELGADO, VALERA, MOLINA, JIMÉNEZ Y RODERO

- age. *Can. J. Anim. Sci.*, 68: 961-964.
- Coulter, G.H. and R.H. Foote. 1979. Bovine testicular measurements as indicators of reproductive performance and their relationship to productive traits in cattle: A review. *Theriogenology*, 1: 297 - 311.
- Coulter, G.H., R.J. Mapletoft and G.C. Kozub. 1987. Effect of measurement method, breed and technician on scrotal circumference measurements. *Can. J. Anim. Sci.*, 66: 811-815.
- Eisen, E.J. 1976. Results of growth curve analyses in mice and rats. *J. Anim. Sci.*, 42: 267-45.
- Hahn, J., R.H. Foote and G.E. Seidel. 1969. Testicular growth and related sperm output in dairy bulls. *J. Anim. Sci.*, 29: 41-47.
- King, R.G., D. Kress, D.C. Anderson, D.E. Doornbos and P.J. Burfering. 1983. Genetics parameters in Herefords for puberty in heiferes and scrotal circumference in bulls. *Proc. West. Sec. Amer. Soc. Anim. Sci.*, 34: 11-13.
- Knights, S.A., R.L. Baker, D. Gianola and J.B. Gibson. 1984. Estimates of heritabilities and genetic and phenotypic correlations among growth and reproductive traits in yearling Angus bulls. *J. Anim. Sci.*, 58: 887-893.
- Latimer, F.G., L.L. Wilson, M.F. Cain and W.R. Stricklin. 1982. Scrotal measurements in beef bulls: Heritability estimates, breed and test station effects. *J. Anim. Sci.*, 54: 473-479.
- Lunstra, D.D. 1982. Testicular development and onset puberty in beef bulls. In Beef Research Progress Report No. 1, U. S. Meat Anim. Res. Center ARS- NC- 21. p 26.
- Lunstra, D.D., K.E. Gregory and L.V. Cundiff. 1988. Heredability estimates and adjustment factors for yearling testicular size in different breeds of beef bulls. RLHUMARC Beef Prog. Report No. 2, US. Dept. Agr., Res. Service, Publ. ARS-42, pp. 41-43.
- Neely, J.D., B.H. Johnson, E.U. Dillard and O.W. Robinson. 1982. Genetic parameters for testes size and sperm number in Hereford bulls. *J. Anim. Sci.*, 55: 1033-1040.
- Nelder, J.A. 1961. The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*, 17: 89.
- Richards, F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Bot.*, 10: 290-300.
- Smith, T. 1988. Scrotal circumference: Measure it right. *The Angus Journal* 3 Mar.
- Toelle, V.D. and O.W. Robinson. 1985. Estimates of genetic correlations between testicular measurements and female reproductive traits in cattle. *J. Anim. Sci.*, 60: 90-100.
- Trocóniz, J., F. Beltran, J. Bastidas, H. Larreal and P. Bastidas. 1991. Testicular development, body weight changes, puberty and semen traits of growing Guzerat and Nellore bulls. *Theriogenology*, 35: 815-824.
- Wildeus, S. and K.W. Entwistle. 1982. Testicular development and related sperm output in dairy bulls. *Theriogenology*, 17: 655-666.