

P. Prazeres¹, J. M. León², A. Alonso³, J. Pleguezuelos⁴, J. Quiroz⁵ y J.V. Delgado¹

¹ Departamento de Genética. Universidad de Córdoba. Campus Universitario de Rabanales, 14071. Córdoba.

² Centro Agropecuario Provincial. Diputación de Córdoba.

³ Junta de Andalucía. Laboratorio de Sanidad y Producción Animal. Almería.

⁴ Asociación nacional de Criadores de Caprino de Raza Murciano-Granadina. Caserío de San Pedro, s/n, 18820 Albolote (Granada).

⁵ INIFAP-México.



Estudio de la curva de lactación de la raza murciano-granadina en el núcleo de control lechero de Almería

INTRODUCCION

La curva de lactación es la representación de la producción lechera frente a los días de lactación habiendo sido estudiada fundamentalmente en el ganado vacuno, presentando dos fases diferenciadas, una primera ascendente desde el parto hasta alcanzar la máxima producción y una descendente desde este punto hasta el secado. Se denomina persistencia de la curva a la pendiente de ésta última fase (Portolano, 1997).

Por tanto, el estudio de la curva de lactación es importante porque permite la identificación de posibles errores en el manejo de un determinado rebaño, como puede ser una alimentación deficiente, inadecuadas instalaciones, patologías no detectadas, etc. (Graminha y col., 1996, Peña y col., 1999, Garcés, 2004). Permite también conocer la evolución de la producción lechera de los animales, así como sus variaciones a lo largo de una lactación, mediante el seguimiento de un animal o un grupo de ellos, estimándose de este modo su producción lechera total o parcial. Además, con la elaboración de las curvas de lactación, se pueden detectar anticipadamente las cabras potencialmente más productivas de un rebaño (Gall, 1981), facilitándose de este modo la toma de decisiones sobre el posible descarte de los animales por su aptitud productiva.

MATERIAL Y MÉTODOS

Como base de información se ha utilizado el archivo histórico de los controles realizados en el Núcleo de Control Lechero de Almería (Núcleo Nacional Número 448) perteneciente a la Asociación Nacional de Criadores de Caprino de Raza Murciano-Granadina, durante los años comprendidos entre 1991 y 2006, lo que supone un total

de 30.577 controles efectuados sobre 3.805 cabras pertenecientes a 18 ganaderías. La producción de leche se controló mensualmente según establece el método A4, siempre siguiéndose las recomendaciones del International Committee for Animal Recording (ICAR).

Para el estudio del ajuste de la curva de lactación se seleccionaron tres modelos empíricos en función del número de lactación (cabras de primera, segunda, tercera, cuarta y quinta o superior lactación), la época de parto (primavera, verano, otoño e invierno) y el tipo de parto (simple, doble, triple y cuádruple) tratándose en todos los casos de lactaciones estandarizadas a 240 días. Se utilizaron para el estudio animales con al menos seis controles registrados. Cuando el número de lactación fue superior a cinco se agrupó en la categoría de quinta o superior lactación, debido al escaso número de observaciones que de ellas se disponían.

En el ajuste de los modelos se utilizó el procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS. Para el cálculo de los parámetros de los modelos se utilizó el método de Marquardt (1963). Como criterios de decisión del ajuste de la bondad de los modelos se utilizaron por orden de prioridad el menor valor de Cuadrado Medio del Error (C.M.E.) de la ecuación estudiada, mayor nivel del coeficiente determinativo (R^2) y el menor número de iteraciones necesarias para alcanzar el valor de los parámetros de las curvas, parámetro indicativo de una mayor facilidad de cómputo de la función matemática utilizada (Draper y Smith, 1981; Romero, 1989).

Los modelos utilizados fueron la función gamma incompleta de Wood (1967) [$y(t) = a t^b e^{-ct}$], el modelo de Nelder (1966) [$y(t) = t(a+bt+ct^2)$] y la ecuación de Cappio-Borlino (1995) [$y(t) = at^{be(-ct)}$]. Donde y representa la producción diaria de leche registrada al tiempo t , t son los días de lactación y a , b , c , son los parámetros de la función.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las tablas I, II, III y IV se pueden observar los valores de los diferentes parámetros calculados, así como su

CME, R^2 y número de iteraciones, para la época de parto de primavera, verano, otoño e invierno, respectivamente.

Tabla I: Parámetros estimados para cada uno de los modelos estudiados para época primavera

Modelo	a	b	c	CME	R2	N.º Iteraciones
Cappio-Borlino	2.18	0.000864	0.00151	0.6938	0.8289	6
Nelder	0.1214	0.4450	0.000860	0.6932	0.8291	7
Wood	2.1803	0.000865	-0.00151	0.6938	0.8289	8

a, b, c = parámetros de la curva. CME = cuadrado medio residual. R^2 = Coeficiente determinativo.

Tabla II: Parámetros estimados para cada uno de los modelos estudiados para época de verano

Modelo	a	b	C	CME	R2	N.º Iteraciones
Cappio-Borlino	2.03	0.0173	0.00162	0.6068	0.8453	7
Nelder	0.0450	0.4595	0.000784	0.6070	0.8452	8
Wood	2.0309	0.0173	-0.00162	0.6068	0.8453	8

a, b, c = parámetros de la curva. CME = cuadrado medio residual. R^2 = Coeficiente determinativo.

Tabla III: Parámetros estimados para cada uno de los modelos estudiados para época de otoño

Modelo	a	b	C	CME	R2	N.º Iteraciones
Cappio-Borlino	2.02	0.0223	0.00158	0.6470	0.8416	7
Nelder	-0.0201	0.4582	0.000696	0.6474	0.8415	9
Wood	2.0233	0.0222	-0.00158	0.6470	0.8416	9

a, b, c = parámetros de la curva. CME = cuadrado medio residual. R^2 = Coeficiente determinativo.

Tabla IV: Parámetros estimados para cada uno de los modelos estudiados para época de invierno

Modelo	a	b	C	CME	R2	N.º Iteraciones
Cappio-Borlino	2.26	0.00307	0.00144	0.7502	0.8337	7
Nelder	-0.0356	0.4370	0.000701	0.7502	0.8337	8
Wood	2.2606	0.00306	-0.00144	0.7502	0.8337	8

a, b, c = parámetros de la curva. CME = cuadrado medio residual. R^2 = Coeficiente determinativo.

En primer lugar indicar que en el estudio de modelización de la curva de lactación en función de la época de parto el mejor ajuste obtenido en función de los criterios evaluados fue el siguiente: para la época de primavera encontramos que el modelo de Nelder es el que presenta el mejor ajuste de los datos productivos, obteniéndose el CME más bajo con un valor de 0.6932 (Tabla I). Para la época de verano los modelos de Wood y Cappio-Borlino

alcanzaron iguales valores de CME y R^2 , con niveles de 0.6068 y 0.8453, respectivamente, si bien el modelo de Cappio-Borlino necesitó de 7 iteraciones frente a 8 de Wood para alcanzar la convergencia (Tabla II). La misma situación aconteció con la época de otoño donde Wood y Cappio-Borlino alcanzaron iguales valores de CME y R^2 , pero también en este caso optaremos por el método de Cappio-Borlino por su menor número de iteraciones (Tabla III). En

el caso del invierno encontramos que tanto los valores del CME y R^2 son iguales para los tres modelos estudiados, con 0.7502 y 0.8337, respectivamente; sin embargo el número de iteraciones fue menor para la función de Cappio-Borlino donde el procedimiento NLIN necesitó de siete iteraciones (Tabla IV).

En las Figuras I, II, III y IV, podemos observar las curvas de lactación ajustadas para el caso de la primavera a la función de Nelder (Figura I), y a la función de Cappio-Borlino, para la época de verano, otoño e invierno (Figuras II, III y IV), respectivamente.

En función de los modelos seleccionados para el mejor ajuste de la producción lechera en función de la época de

parto, se obtuvo un pico de producción de 2.24 kg. para el caso de la primavera, valor obtenido mediante algoritmo $1/[2(ac)0.5 + b]$, propuesto por Nelder en 1966. En el caso del verano, otoño e invierno, se obtuvieron unos picos productivos de 2.11, 2.14 y 2.26 kg., respectivamente; para ello se utilizó el algoritmo propuesto por Cappio-Borlino en 1995, $a(b/c)^{be(-b)}$.

Montaldo y cols., (1997), en estudios sobre cabras Saanen, Alpina y cruce de Toggenburg con razas locales de México obtuvo unos picos productivos de 2.16 kg. para el período comprendido entre los meses de noviembre y febrero, y de 2.34 kg. en el tramo de marzo a octubre, utilizando para ello el modelo de Wood.

Figura I: Curva de lactación para cabras con partos de primavera, ajustada a la función de Nelder

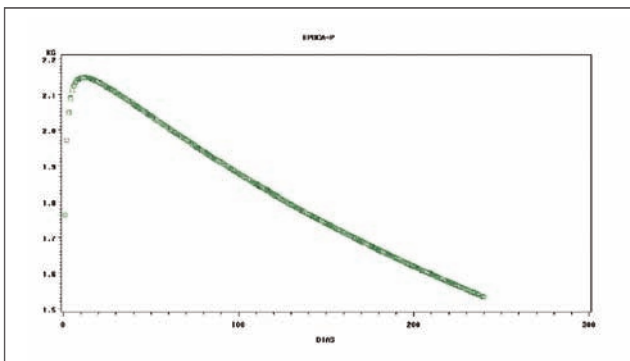


Figura II. Curva de lactación para cabras con partos de verano, ajustada a la función de Cappio-Borlino.

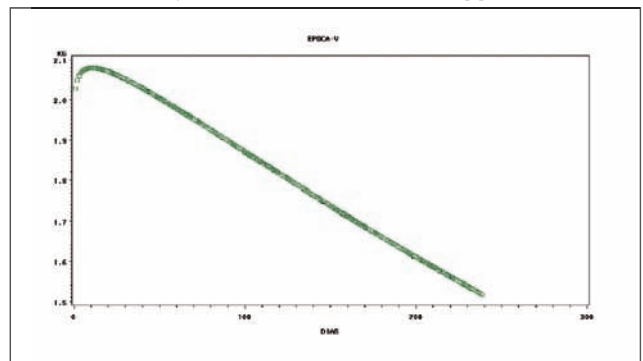


Figura III: Curva de lactación para cabras con partos de otoño, ajustada a la función de Cappio-Borlino

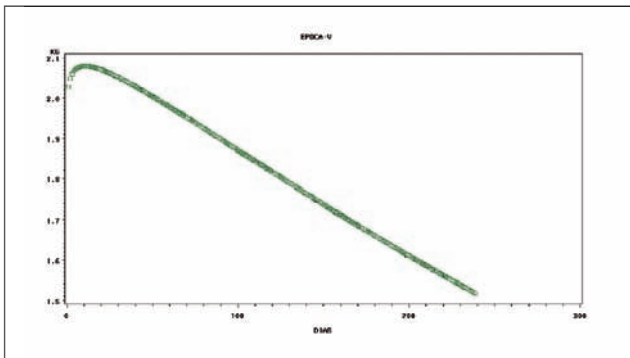
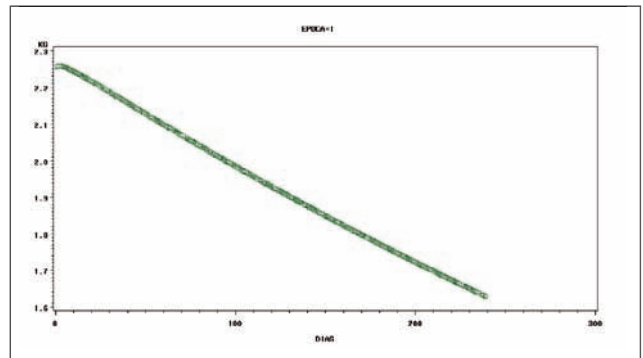


Figura IV: Curva de lactación para cabras con partos de invierno, ajustada a la función de Cappio-Borlino



En las tablas V, VI, VII y VIII, se pueden mostrar los valores de los diferentes parámetros calculados, así como su CME, R^2 y número de iteraciones, en función del tipo

de parto de la cabra, según se trate de partos simples, dobles, triples y cuádruples, respectivamente.

Tabla V: Parámetros estimados para cada uno de los modelos estudiados para tipo de parto simple

Modelo	a	b	C	CME	R^2	N.º Iteraciones
Cappio-Borlino	1.77	0.0258	0.00147	0.5631	0.8345	7
Nelder	0.0352	0.5135	0.000700	0.5633	0.8344	8
Wood	1.7764	0.0258	-0.00147	0.5631	0.8124	8

a, b, c = parámetros de la curva. CME = cuadrado medio residual. R^2 = Coeficiente determinativo.

Tabla VI: Parámetros estimados para cada uno de los modelos estudiados para Tipo de parto doble

Modelo	a	b	C	CME	R2	N.º Iteraciones
Cappio-Borlino	2.20	0.0120	0.00165	0.6737	0.8449	7
Nelder	0.0232	0.4306	0.000790	0.6738	0.8448	9
Wood	2.2046	0.0120	-0.00165	0.6737	0.8449	8

a, b, c = parámetros de la curva. CME = cuadrado medio residual. R² = Coeficiente determinativo.

Tabla VII: Parámetros estimados para cada uno de los modelos estudiados para tipo de parto triple

Modelo	a	b	C	CME	R2	N.º Iteraciones
Cappio-Borlino	2.56	0.0107	0.00210	0.8485	0.8410	7
Nelder	-0.0279	0.3743	0.000895	0.8490	0.8409	9
Wood	2.5659	0.0107	-0.00210	0.8485	0.8410	8

a, b, c = parámetros de la curva. CME = cuadrado medio residual. R² = Coeficiente determinativo.

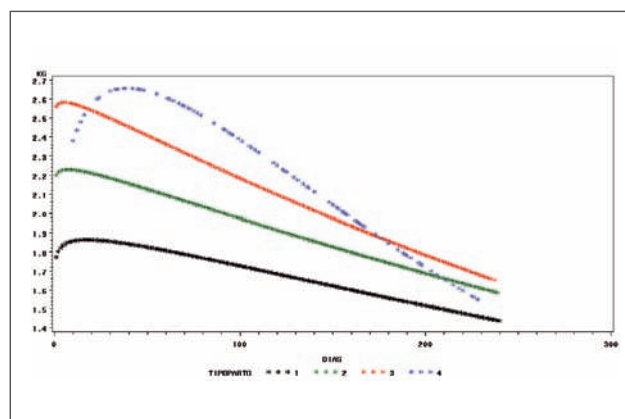
Tabla VIII. Parámetros estimados para cada uno de los modelos estudiados para Tipo de parto cuádruple

Modelo	a	b	C	CME	R2	N.º Iteraciones
Cappio-Borlino	1.65	0.1768	0.0045	0.9985	0.8355	7
Nelder	1.5917	0.2727	0.00141	1.0040	0.8347	9
Wood	1.6571	0.1768	-0.00450	0.9985	0.8355	26

a, b, c = parámetros de la curva. CME = cuadrado medio residual. R² = Coeficiente determinativo.

En lo respecta al tipo de parto encontramos que para el caso de cabras con parto simple el modelo de Wood y el de Cappio-Borlino, presentaron el mismo valor de CME con 0.5631, sin bien Cappio-Borlino ofreció mayor valor de R² (0.8345) y menor número de iteraciones (7), presentando así el mejor ajuste de los datos productivos (Tabla V). Cuando se trata de partos dobles el modelo de Wood y Cappio-Borlino alcanzaron iguales valores de CME y R², con niveles de 0.6737 y 0.8449, respectivamente, si bien el modelo de Cappio-Borlino necesitó de 7 iteraciones para la estimación de los parámetros de la curva de lactación (Tabla VI). Del mismo cuando se trata de partos triples y cuádruples los modelos de Wood y Cappio-Borlino también ofrecieron iguales niveles de CME y R², pero del mismo modo optaremos por el método de Cappio-Borlino por su menor número de iteraciones (Tablas VII y VIII).

En la figura V se pueden observar las curvas de lactación por tipo de parto, ajustadas a la función de Cappio-Borlino. Para el modelo de elección en ajuste de la curva producción en función del tipo de parto, se obtuvieron unos picos de producción de 1.90, 2.25, 2.60 y 2.83 kg. para cabras de parto simple, doble, triple y cuádruple, respectivamente. Herrera y cols., (1984), en cabra Malagueña encontraron picos productivos de 1.98, 2.15 y 2.24 kg., para cabras de parto simple, doble y triple, respectivamente.

Figura V. Curvas de lactación para cabras de parto simple (1), doble (2), triple (3) y cuádruple (4), ajustadas a la función de Cappio-Borlino


En las tablas IX, X, XI, XII y XIII, quedan reflejados los valores de los diferentes parámetros calculados, así como su CME, R² y número de iteraciones, en función del número de lactación de la cabra, según se trate de cabras en primera lactación, segunda, tercera, cuarta o quinta y superiores.

Tabla IX: Parámetros estimados para cada uno de los modelos estudiados para cabras de primera lactación

Modelo	a	b	c	CME	R2	N.º Iteraciones
Cappio-Borlino	1.68	0.0146	0.00110	0.5122	0.8308	7
Nelder	-0.0433	0.5667	0.000569	0.5123	0.8307	7
Wood	1.6858	0.0146	-0.00110	0.5122	0.8308	9

a, b, c = parámetros de la curva. CME = cuadrado medio residual. R² = Coeficiente determinativo.

Tabla X: Parámetros estimados para cada uno de los modelos estudiados para cabras de segunda lactación

Modelo	a	b	C	CME	R2	N.º Iteraciones
Cappio-Borlino	1.92	0.0418	0.00179	0.6315	0.8491	6
Nelder	0.1352	0.4446	0.000725	0.6320	0.8490	8
Wood	1.9239	0.0418	-0.00179	0.6315	0.8491	8

a, b, c = parámetros de la curva. CME = cuadrado medio residual. R² = Coeficiente determinativo.

Tabla XI: Parámetros estimados para cada uno de los modelos estudiados para cabras de tercera lactación

Modelo	a	b	C	CME	R2	N.º Iteraciones
Cappio-Borlino	2.30	0.0186	0.00183	0.6830	0.8562	7
Nelder	0.00948	0.4057	0.000783	0.6836	0.8560	10
Wood	2.3016	0.0186	-0.00183	0.6830	0.8562	8

a, b, c = parámetros de la curva. CME = cuadrado medio residual. R² = Coeficiente determinativo.

Tabla XII. Parámetros estimados para cada uno de los modelos estudiados para cabras de cuarta lactación

Modelo	a	b	C	CME	R2	N.º Iteraciones
Cappio-Borlino	2.53	-0.0153	0.00135	0.7439	0.8456	7
Nelder	-0.0983	0.4149	0.000718	0.7430	0.8458	7
Wood	2.5367	-0.0153	-0.00135	0.7439	0.8456	8

a, b, c = parámetros de la curva. CME = cuadrado medio residual. R² = Coeficiente determinativo.

Tabla XIII. Parámetros estimados para cada uno de los modelos estudiados para cabras de quinta lactación y superiores

Modelo	a	b	C	CME	R2	N.º Iteraciones
Cappio-Borlino	2.09	0.0331	0.00224	0.7076	0.8329	6
Nelder	0.2320	0.4098	0.00105	0.7070	0.8331	7
Wood	2.09	0.0331	0.00224	0.7076	0.8329	6

a, b, c = parámetros de la curva. CME = cuadrado medio residual. R² = Coeficiente determinativo.

Finalmente abordaremos el ajuste de las producciones a los modelos matemáticos en función del número de lactación. Así pues para cabras de primera lactación las funciones de Cappio-Borlino y Wood alcanzaron valores de CME iguales con 0.5122, si bien Cappio-Borlino precisó de menos iteraciones (7) para alcanzar la convergencia, presentando por tanto un mejor ajuste (Tabla IX). Cuando se trata de cabras de segunda y tercera lactación el modelo de elección es el de Cappio-Borlino, por su menor número de interacciones, frente al de Wood con el que se igualó en CME y R^2 (Tablas X y XI). Para las cabras de cuarta lactación el modelo que menor CME presentó fue el de Nelder con valores de 0.7430 (Tabla XII). En cuanto a cabras de quinta o superior lactación optamos por el modelo de Cappio-Borlino que si bien iguala al de Wood en valores de CME y R^2 (0.7076 y 0.8329), el es que necesitó de menor número de iteraciones para alcanzar los valores definitivos de los parámetros de la curva (XIII).

En las figuras VI, VII, VIII y X se pueden observar las curvas de lactación para cabras de primera, segunda, tercera y quinta o superior lactación ajustadas a la función de Cappio-Borlino. En la figura IX queda representada la curva de lactación para cabras en cuarta lactación ajustada la función de Nelder. Los picos de producción obtenidos en función del número de lactación fueron de 1.74, 2.17, 2.39, 2.31 y 2.27 kg., para cabras de primera, segunda, tercera, cuarta y quinta o superior lactación.

En este sentido Macciotta y cols., (2005), encontró valores de pico productivo de 1.35, 1.57 y 1.53 kg., en cabras Sarda de primera, segunda y tercera lactación. Mucho más elevados son los niveles aportados por Groeneveld y Viljoen, (2003) que obtuvo valores de pico de producción de 3.22, 4.21 y 4.53 kg. para cabras Saanen en primera, segunda y tercera lactación respectivamente. En ambos estudios fue utilizada la función de Wood.

Figura VI. Curva de lactación para cabras de primera lactación ajustada a la función de Cappio-Borlino

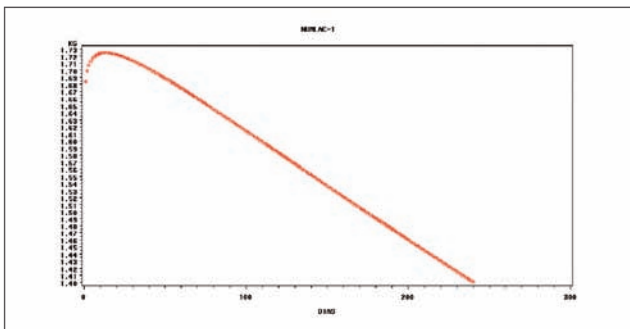


Figura VII. Curva de lactación para cabras de segunda lactación ajustada a la función de Cappio-Borlino

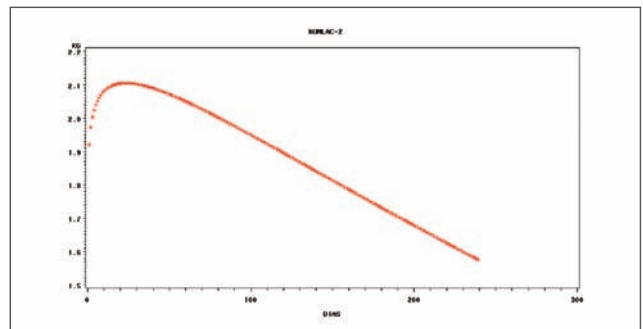


Figura VIII. Curva de lactación para cabras de tercera lactación ajustada a la función de Cappio-Borlino

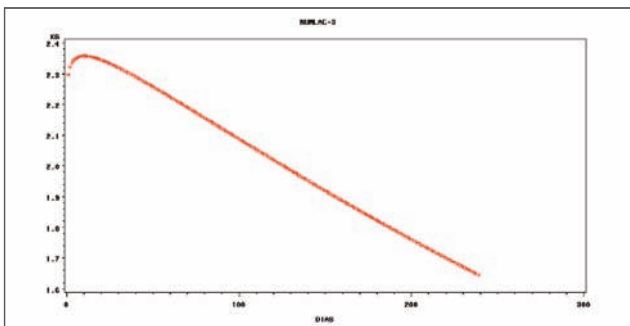


Figura IX. Curva de lactación para cabras de cuarta lactación ajustada a la función de Nelder

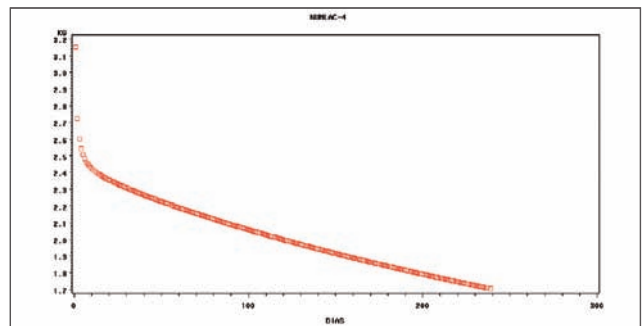
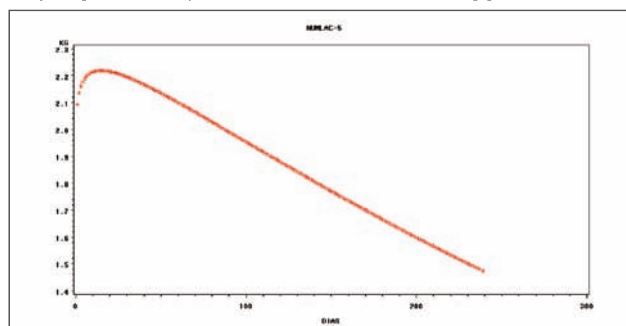


Figura X. Curva de lactación para cabras de quinta lactación y superiores ajustada a la función de Cappio-Borlino



CONCLUSIONES

En función de los modelos estudiados podemos concluir que para los datos de producción lechera en el Núcleo de Almería presentan una gran influencia ambiental y, por tanto, se hace complicada la labor de ajuste de los mismos a los modelos no lineales utilizados en este estudio. No obstante la función de Cappio-Borlino, es la que forma general es la que mejor explicó el comportamiento productivo de las cabras Murciano-Granadina del núcleo de control de Almería, en función de la época de parto, tipo de parto y número de lactación; con la excepción de la curva de lactación de primavera y cuarta lactación que presentaron una mayor bondad de ajuste con la función de Nelder.

BIBLIOGRAFÍA

- CAPPIO-BORLINO, A.; PULINA, G.; ROSSI, G. 1995. A non-linear modification of Wood's equation fitted to lactation curves of Sardinian dairy ewes, *Small Ruminant Research*, v.18, p.75-79, 1995.
- COBBY, J. M. AND Y L.P., LE DU. 1978. On fitting curves to lactation data. *Anim. Prod.* 26: 127-133.
- DAVE, B. K. 1971. First lactation curve of the Indian water buffalo. *INKUV Research Journal*. 5: 93-95.
- DISSET, R., SIGWALD, J.P. 1971. Etude des facteurs influençant la production laitière chez la chèvre. II congress international de L'Élevage caprins, Tours. 265-269.
- DRAPER, N.R. Y SMITH, H. 1981. *Applied Regression Analysis*. John Wiley and Sons, Inc. 2.ª. Edición, N.Y., USA.
- FRESNO, M., DELGADO, J. V. Y RODERO, J. M. 1992. Modelo de curva de primera lactación en cabras Canarias. *Arch. Zootec.* 41: 81-84.
- GALL, C. 1981. Milk Production. In: *Goat Production*. New Cork: Academia Press. P. 309-344.
- GARCÉS R., JULIO BOZA, PAULO ACEVEDO, ERNST BRANDL, RUPERT M. BRUCKMAIER Y JUAN LUIS LÓPEZ. 2004. Índice de persistencia y descripción de los primeros 100 días de la curva de lactancia de cabras Saanen primíparas y múltiparas mantenidas en confinamiento. *Agricultura Técnica*. Vol. 64 - No 3. p. 319-326.
- GRAMINHA, C.V.; RESENDE, K.T.; RIBEIRO, S.D.A. 1996. Estudio comparativo entre as curvas de produção real e a curva de produção teórica em cabras leiteiras. In: *Anais da Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 33. Fortaleza. p.552-553.
- GROENEVELD, P.C.N., VILJOEN, C.S. 2003. A Bayesian model for the analysis of lactation curves of dairy goats. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, 8: 75-83.
- HERRERA, M., PEÑA, F., APARICIO, J.B., SUBIRES, J. 1984. Curva de lactación de la raza caprina malagueña. *Actas de las IX Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia*, 59-66.
- KNIGHT, C.H., PEAKER, M. 1982. Development of the mammary gland. *J. Reprod. Fert.*, 65. 621-626.
- MACCIOTTA, N.P.P.; DIMAURO, C.; STERI, R.; CAPPIO-BORLINO, A. 2005. Modellizzazione matematica della curva di lattazione della capra. Capítulo 2 del libro: *L'alimentazione della capra da latte*. Ed. Avenue Media. Bologna (Italia).
- MACKENZIE, D. 1970. *Goat husbandry*. 3.ª Ed. Faber and Faber Ltd. London.
- MADALENA, F.E., MARTINEZ, M.L., AND FREITAS, A.F. 1979. Lactation curves of Hostein-Friesian and Holstein-Friesian x Gir cows. *Anim. Prod.* 29:101-107.
- MARQUARDT, D.W. 1963. An algorithm for least square estimation of non linear parameters. *J. Soc. Ind. Appl. Matem.*, 11: 97.
- MONTALDO, H., A. ALMANZA, AND A. JUÁREZ. 1997. Genetic group, age and season effects on lactation curve shape in goats. *Small Rumin. Res.* 24:195-202.
- NELDER, J.A. 1966. Inverse polynomials a useful group of multi-factor response functions. *Biometrics*, v.22, n.1, p.128-141, 1966.
- PEÑA, F., J. VEGA, M. SÁNCHEZ, J. MARTOS, A. GARCÍA Y V. DOMÉNECH. 1999. Producción láctea y ajuste de la curva de lactación en caprinos de raza Florida. *Arch. Zootec.* 48: 415-424. 1999.
- PORTOLANO, B., F. PILLA, P. GIACCONE Y M. TODARO. 1997. La produzione massima al controllo per la stima della capacità productiva degli ovini da latte (The use of the peak yield to estimate productiveability of dairy sheep). Pages 111-112 in *Proc. 12th Meet. Ital. Sci. Soc. Anim. Prod.*, Pisa, Italy.
- ROMERO, T.F. 1989. Selección de un modelo de regresión no lineal para describir el crecimiento en ovinos. Tesis de Licenciatura. Fac. Med. Vet. Y Zootecnia. U.N.A.M. México.
- STEINE, T.A. 1975. Test day records and part lactations in goat. *Meld. Nor. Landbrukshoegsk.* 54, 31, 21.
- WOOD, P.D.P. 1967. Algebraic models of the lactation curves for milk, fat and protein production with estimates of seasonal variation. *Anim. Prod.* 22:35.

Asociación Nacional de Criadores de Caprino de Raza Murciano-Granadina



***Caserío de San Pedro, s/n
18220 Albolote (Granada)
Tel. y Fax: 958 467 558
E-mail: caprigran@teleline.es***