

NOTA TÉCNICA

Gustavo Ossa S.¹,
Lino Torregroza S.²
y Leonardo Alvarado³

ABSTRACT

Title: Determination of Lactation Curve of Crossbred Cows in a Dual Purpose Herd at the Caribbean Region of Colombia

This study was carried out with the objective of determining the lactation curve of crossbred cows at the dual purpose herd of Turipaná, a Corpoica's Research Center located in Cereté, Department of Córdoba, Colombia. Ninety two lactating records were analyzed using the quadratic regression model and the mathematical model $Y_t = a \cdot t^b \cdot e^{-ct}$ described by Wood (1967). The r^2 values for the regression were 0.53 for cows in the first lactation (first order), 0.93 for cows in the second and third lactation (order 2) and 0.91 for cows of 4 or more lactation (order 3). The values of r^2 for Wood's model were 0.74, 0.89 and 0.80 for the orders 1, 2 and 3, respectively. According to Wood's model the peak of lactation was at 64, 46 and 38 days for orders 1, 2 and 3, respectively, where the maximum yield was 4.4, 5.5 and 5.5 kg/day. The slope of the curve of lactation before and after the peak, showed little variation through the three orders, pointing out that under management and feeding conditions of the herd evaluated, cows are unable to express the maximum potential for milk production, being necessary to improve the nutrition and management in order to increase milk production.

Key words: Peak of lactation, milk production, regression model, Wood's model, crossbred cows.

1. Programa Nacional de Recursos Genéticos Animales, CORPOICA, C.I. Turipaná, Apartado Aéreo 602, Montería (Córdoba), Colombia;
2. Universidad de Córdoba, Apartado Aéreo 354, Montería (Córdoba), Colombia;
3. Programa Regional Pecuario, CORPOICA, C.I. Turipaná, Apartado Aéreo 602, Montería (Córdoba), Colombia.

Determinación de la curva de lactancia en vacas mestizas de un hato de doble propósito en la Región Caribe de Colombia

RESUMEN

Con el objeto de determinar el comportamiento de la curva de lactancia en vacas mestizas manejadas bajo el sistema de doble propósito en las condiciones ambientales del Centro de Investigación Turipaná de Corpoica—municipio de Cereté, departamento de Córdoba, Colombia—, se registraron las lactancias de 92 vacas mestizas entre septiembre de 1990 y enero de 1992. Para el análisis de la muestra obtenida se utilizó el modelo de regresión cuadrática y el modelo matemático $Y_t = a \cdot t^b \cdot e^{-ct}$, descrito por Wood (1967). Los valores del r^2 de la regresión cuadrática fueron de 0,53 para las vacas de primera lactancia (orden 1), 0,93 para las vacas de segunda y tercera lactancia (orden 2) y 0,91 para las vacas de cuatro o más lactancias (orden 3). Los valores del r^2 derivados del modelo de Wood, fueron de 0,74; 0,85 y 0,80 para los órdenes 1, 2 y 3, respectivamente. Según el modelo de Wood, el pico de la lactancia se alcanzó en los días 64, 46 y 38 para los órdenes 1, 2 y 3, mientras las producciones de leche máximas registraron 4,4; 5,5 y 5,5 kg/día, respectivamente. No hubo cambios apreciables en la pendiente de la curva antes y después del pico de producción, pues ésta fue similar entre las vacas con diferente número de lactancias, lo cual sugiere que las condiciones de manejo y alimentación, no permitieron una expresión adecuada del potencial de producción de leche de los animales del hato estudiado.

Palabras claves: Pico de lactancia, producción de leche, modelos de regresión, modelo de Wood, vacas de doble propósito.

INTRODUCCIÓN

INVESTIGADORES de diversas disciplinas han concluido que los sistemas de producción de doble propósito desempeñan un papel primordial en el desarrollo socioeconómico de la región tropical (Holmann *et al.*, 1990; Jarvis, 1990; Preston, 1976; Preston y Leng, 1987; Restrepo y otros, 1991; Sere y Vaccaro, 1985; Sere y Rivas, 1987).

Lo anterior es evidente en Colombia, puesto que del total del hato lechero, sólo el 9,5% está conformado por razas especializadas (básicamente Holstein), la cual se explota principalmente en las zonas altas del trópico. El resto del hato nacional (90,5%) está integrado por cruces de *Bos indicus* con *Bos taurus* (57,6%) y razas criollas (32,8%), que se ubican en las zonas medias y bajas del trópico (Arango, 1986), en sistemas de producción de carne y leche; por esta razón se conocen comúnmente como "razas de doble propósito". Bajo estas circunstancias, el 45% de la producción de leche del país se origina de las ganaderías especializadas, mientras que el 55% restante procede de ganaderías de

doble propósito (Cardozo y Baquero, 1995).

En la Región Caribe de Colombia se encuentra el mayor hato ganadero del país (cerca del 32% respecto del total nacional), circunstancia por la cual, los sistemas de producción bovinos de doble propósito revisten gran importancia económica y social. En la mayoría de los departamentos pertenecientes a esta región natural, más de la mitad del producto interno bruto agropecuario se deriva de la producción de carne y leche de estos sistemas.

La representación gráfica de la producción diaria de leche de una vaca, en función del tiempo, se denomina "curva de lactancia". Cuando se usa una función algebraica para describir una curva de lactancia, es posible prever la producción de leche en cualquier período; en consecuencia, se puede estimar la cantidad de alimento requerido y las necesidades de suplementación. Al utilizar la curva de lactancia para predecir la producción, se pueden identificar por anticipado aquellas vacas del hato con mayor potencial pro-

ductivo, información de utilidad en la toma de decisiones sobre descarte de animales y selección. Adicionalmente, la posibilidad de prospectar la producción total de las lactancias, permite utilizar las vacas madres e hijas en la evaluación de los toros (Durães *et al.*, 1991).

Para su interpretación correcta, la curva de lactancia se puede descomponer en varios segmentos: producción inicial, duración de la fase ascendente, pico de producción y tasa de descenso; cada fase presenta una duración variable y es afectada, además, por factores genéticos y del medio. Éstos han sido ampliamente estudiados en las razas europeas por autores como Gaines (1927), Vujicic y Bacic (1961), Nelder (1966), Wood (1967, 1968, 1976, 1979), entre otros. En Colombia son pocos los trabajos desarrollados para determinar la curva de lactancia de las razas europeas y no existen investigaciones acerca de las razas mestizas explotadas bajo el sistema de doble propósito.

El objetivo de este trabajo apunta a examinar la utilización del modelo cuadrático y del modelo tipo gamma descrito por Wood (1967), en el ajuste de la curva de lactancia a partir de medidas periódicas de la producción láctea en vacas mestizas manejadas bajo el sistema de doble propósito.

Materiales y métodos

Se analizaron los registros de lactancia de 92 vacas mestizas producto del cruce entre bovinos de sangre Cebú, Holstein, Pardo Suizo y Normando principalmente. Dichos animales se explotaban bajo el sistema de doble propósito y pertenecían al hato del Centro de Investigaciones Turipaná de Corpoica (ubicado en la parte media del Valle del Sinú, en el municipio de Cereté), a una altitud de 13 metros sobre el nivel del mar, 8°51' de latitud norte y 75° de longitud oeste, una temperatura media de 27°C, una precipitación anual promedio de 1.100 mm y humedad relativa del 82%.

El estudio de la lactancia de vacas paridas inició en septiembre de 1990 y finalizó en enero de 1992; para facilitar el análisis se establecieron tres órdenes: en el orden 1 se agruparon 24 vacas de primera lactancia; en el orden 2 se contabilizaron 28 vacas de segunda y tercera lactancia; finalmente, el orden 3 incluyó 40 vacas de cuatro o más lactancias. La producción de leche se registró diariamente y se eliminaron las vacas que tuvieron un período de lactancia inferior a 150 días. Se efectuó un ordeño diario (8:00 a.m.) con estimulación del ternero. Las crías permanecieron

junto a sus madres por un tiempo aproximado de 8 horas cada día hasta la edad de cuatro meses, a partir de la cual, sólo tuvieron la oportunidad de consumir la leche residual por un tiempo aproximado de una hora, luego de lo cual se les separaba hasta el día siguiente. En la muestra solamente se consideró la cantidad de leche ordeñada sin tener en cuenta la leche consumida por el ternero. Los animales de la muestra pastorearon en potreros de pasto *Ángleton* (*Dichanthium aristatum*) y tuvieron libre acceso a sal mineralizada y agua.

Las curvas de lactancia para los órdenes 1, 2 y 3, se determinaron usando ecuaciones cuadráticas que se compararon con el modelo tipo gamma incompleta propuesto por Wood (1967). El modelo cuadrático usado supone que la producción de leche por día se relaciona de manera inversa con el tiempo, siendo su expresión matemática:

$$Y_t = \alpha + \beta_1 t - \beta_2 t^2, \text{ donde:}$$

Y_t = producción de leche el día t ;
 α = parámetro para el nivel de producción;
 β_1 y β_2 = coeficientes de regresión; y ,
 t = día de lactancia.

En este modelo, el tiempo en el que las vacas alcanzaron su máxima producción se calculó mediante la primera derivada de la ecuación, igualándola a cero y despejando el valor correspondiente a "t". El pico de producción se obtuvo resolviendo la ecuación para el día "t" al solucionar la primera derivada. La persistencia en el modelo cuadrático se estableció, de manera directa, por los coeficientes de regresión, asumiendo que el factor β_1 indica el aumento diario de la producción de leche durante el período de ascenso de la producción, en tanto que β_2 refleja la disminución diaria de la producción de leche durante el período de declive de la lactancia.

El modelo de Wood se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$Y_t = a \cdot t^b \cdot e^{-ct}, \text{ donde:}$$

Y_t = producción de leche el día t ;
 a = parámetro para el nivel de producción;
 t = día de lactancia;
 b = parámetro para el ritmo de aumento;
 e = base de logaritmo natural (2,718); y ,
 c = tasa de descenso después del pico de producción.

Para su solución, la anterior expresión

matemática se transformó en logarítmica, de la manera siguiente:

$$\ln Y_t = \ln a + b \ln t - ct, \text{ asumiendo que:}$$

$$\ln Y_t = Y_t;$$

$$\ln a = b_0;$$

$$b \ln t = b_1 X_1; y,$$

$$ct = b_2 X_2$$

lo cual se representa como:

$$Y_t = b_0 + b_1 X_1 - b_2 X_2$$

La anterior ecuación fue resuelta a través del método de los cuadrados mínimos. A continuación, se procedió a la combinación de estimativos positivos para los parámetros "a", "b" y "c", con el fin de definir otras tres variables, a saber:

Producción en el pico
de producción = $a(b/c)^b e^{-b}$;

Tiempo para alcanzar el pico
de producción = b/c ; y ,

Persistencia = $-(b+1) \log_n c$

Resultados

En la Tabla 1 se presentan las ecuaciones de regresión del modelo cuadrático y del modelo de Wood, las cuales estiman la producción de leche de las vacas mestizas de acuerdo con su categoría u orden.

El r^2 del modelo cuadrático fue superior a los valores encontrados por el modelo de Wood, con excepción de la curva correspondiente a las vacas de primer parto; ello señala un mejor ajuste del modelo cuadrático al proceso biológico de la producción láctea de las vacas mestizas bajo las condiciones del centro experimental. Estos resultados no deben ser tomados como regla general, puesto que la forma de la curva depende del hato, de la raza y de las condiciones ambientales.

Los valores del r^2 , encontrados para los modelos cuadrático y gamma, son menores a los encontrados por Wood (1969) en vacas Holstein de la Zona Templada y en la Zona Tropical por Rodríguez (1987); no obstante, se asemejan a los valores hallados por Madalena *et al.* (1979) en el Brasil para vacas Holstein y para la F1 de Holstein x Gyr.

En la Figura 1 se presentan las curvas de lactancia de los órdenes 1, 2 y 3, según el modelo cuadrático, mientras que la Figura 2 representa las curvas de lactancia de los mismos, según el modelo de Wood. En el modelo cuadrático, la representación gráfica de las curvas de lactancia para las

Tabla 1. Ecuaciones de la curva de producción de leche según los modelos cuadrático y de Wood en vacas mestizas de un hato de doble propósito.

Categoría	Ecuaciones usadas	r ²
Modelo cuadrático		
Primer parto	$y = 3,71 + 0,010376X - 0,000039199X^2$	0,53
2° y 3° partos	$y = 4,64 + 0,001154X - 0,000058693X^2$	0,94
≥ a 4 partos	$y = 4,14 + 0,020400X - 0,0000907X^2$	0,91
Modelo de Wood		
Primer parto	$Yt = 3,439 \cdot t^{0,0777} \cdot e^{-0,01211t}$	0,74
2° y 3° partos	$Yt = 3,696 \cdot t^{0,142967} \cdot e^{-0,0031t}$	0,85
≥ a 4 partos	$Yt = 4,449 \cdot t^{0,076816} \cdot e^{-0,0020t}$	0,81

Tabla 2. Pico de producción láctea, producción máxima y persistencia de la lactancia en vacas mestizas según los modelos de Wood y cuadrático.

Categoría	Pico de producción	Producción máxima	Persistencia
Modelo de Wood			
Vacas del orden 1	64 días	4,4 kg/día	7.234
Vacas del orden 2	46 días	5,5 kg/día	6.599
Vacas del orden 3	38 días	5,5 kg/día	6.855
Modelo Cuadrático			
Vacas del orden 1	132 días	4,4 kg/día	$\beta_1 = 0,0103$ $\beta_2 = -0,0000391$
Vacas del orden 2	10 días	4,6 kg/día	$\beta_1 = 0,0011$ $\beta_2 = -0,0000586$
Vacas del orden 3	56 días	5,0 kg/día	$\beta_1 = 0,0204$ $\beta_2 = -0,0000907$

modelos. En el modelo de Wood, las vacas del orden 3 lograron llegar al pico de producción en menor tiempo (38 días), logrando producir 5,5 lt/día. Por su parte, las vacas del orden 2 sólo necesitaron 10 días para alcanzar el pico de producción en el modelo cuadrático, llegando a producir 4,6 kg/día. En condiciones prácticas, la producción registrada en el pico de producción puede servir como criterio para el descarte de vacas.

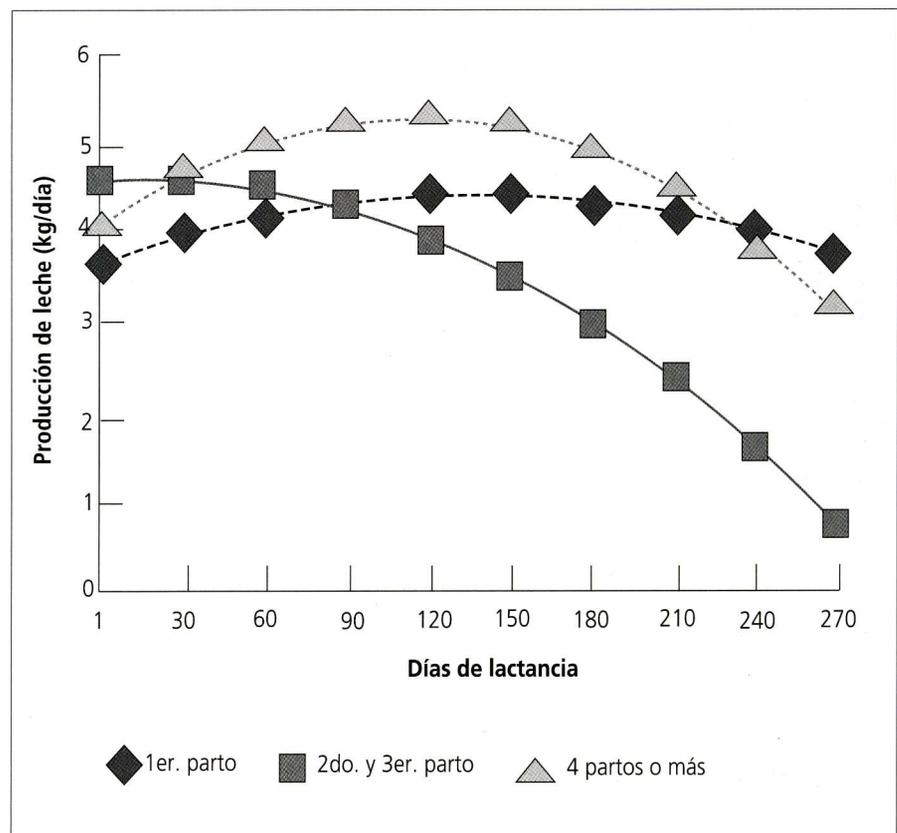
Los valores de persistencia en ambos modelos (con excepción de las vacas de orden 2 en el modelo cuadrático) fueron altos, lo cual hace que la pendiente de estas curvas presente un declive suave que se prolonga hasta el final de la lactancia; por el contrario, es de anotar que la persistencia de la lactancia en las vacas de orden 2, en el modelo cuadrático, presenta un comportamiento inverso. Se han reportado comportamientos similares en las condiciones tropicales de Cuba en vacas Holstein (Rodríguez, 1987), y para las condiciones tropicales del Brasil con vacas Gyr (Bianchini y col., 1985); estos valores se diferencian claramente de los resultados reportados en la literatura con relación a la persistencia de la lactancia en vacas lecheras especializadas de zonas templadas.

Conclusiones

Es necesario evaluar los modelos probados en este estudio, en hatos con diferen-

vacas de primer y tercer orden son similares y se diferencian claramente de la curva para las vacas de segundo orden, las cuales se hallaban en un descenso pronunciado de la producción casi desde el inicio de la lactancia. Por el contrario, la representación gráfica de las lactancias mediante el modelo gamma es similar para los tres órdenes, aspecto que coincide con lo reportado por Rodríguez (1987), quien evaluó vacas Holstein en condiciones tropicales.

La Tabla 2 presenta la época de máxima producción de leche y la persistencia de la producción láctea en las diferentes categorías establecidas. Las vacas de orden 1 demoraron más tiempo para llegar al pico de producción (64 y 132 días, según los modelos gamma y cuadrático respectivamente); así mismo, estos animales registraron una menor producción de leche al alcanzar el pico en 4,4 kg/día en ambos

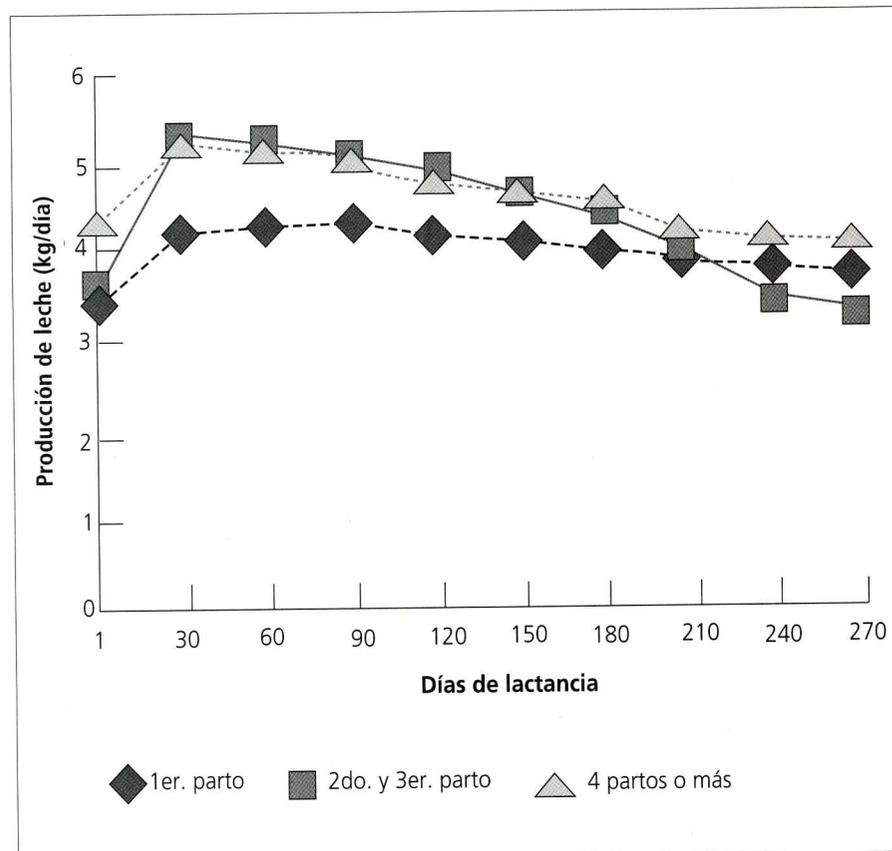
**Figura 1.** Curvas de lactancia de vacas mestizas de 1°, 2° y 3°, y 4 o más partos, según el Modelo cuadrático.

tes condiciones de manejo y alimentación, de modo que puedan ser utilizados como herramienta en la toma de decisiones a nivel de un amplio rango de sistemas de producción bovina tropical. El análisis de los resultados obtenidos en este trabajo permite concluir que:

1. Las ecuaciones del modelo cuadrático presentan valores de r^2 mayores cuando se comparan con los del modelo de Wood, lo cual indica que dicho modelo posee un mejor grado de ajuste para interpretar la curva de lactancia en vacas mestizas manejadas bajo un sistema de doble propósito.

2. La representación gráfica de las curvas de lactancia, en las vacas de doble propósito, difiere ostensiblemente de las reportadas en la literatura para vacas lecheras especializadas de las zonas templadas; no obstante, se asemeja a los patrones señalados en condiciones de explotación lechera tropical.

Figura 2. Curvas de lactancia de vacas mestizas de 1º, 2º y 3º, y 4 o más partos, según el Modelo de Wood.



BIBLIOGRAFÍA

Arango, L. 1986. La ganadería de doble propósito. Coyuntura Agropecuaria. Segundo trimestre. CEGA. Bogotá, Colombia, pp. 131-137.

Bianchini-Sobrinho, E., Moura, F., Barbosa, R. 1985. Estimate of total milk production by a Gyr cow through the lactation curve. Rev. Brasil. Genet. 8(3):495-508.

Cardozo, P.F. y Baquero, H.I. 1995. Problemática socioeconómica de la ganadería colombiana con énfasis en el sistema de doble propósito. Plan de Modernización de la Ganadería de Doble Propósito. Corpoica. Programa Nacional de Investigación Socioeconómica. Santa Fe de Bogotá, Colombia. 46 pp.

Durães, M. C., Teixeira, N. M., Freitas, A. F. 1991. Curvas de lactação de vacas da raça Holandesa mantidas em confinamento total. Arq. Bras. Med. Vet. Zoot. 43(5):447-458.

Gaines, W.Z. 1927. Persistency of lactation in dairy cows. Agric. Exp. Stn. Bull. 288 pp.

Holmann, F., Blake, R.W., Hahn, M.V., Barker, R., Milligan, R.A., Oltenacu, P.A., Stanton, T.I. 1990. Comparative profitability of purebred and crossbred Holstein herds. Journal of Dairy Science 73:2190-2205.

Jarvis, L.S. 1990. Latin American beef and milk policies: Lessons for the 90's from experiences in the 70's and 80's. In: Reunión de ALPA (12, 1990, Campinas, Bra.). Campinas Bras. Asociación

Latinoamericana de Producción Animal, p. 385-413.

Madelena, F., Martínez, M., Freitas, A. 1979. Lactation curves of Holstein Friesian and Holstein Friesian x Gir cows. Anim. Prod. 29:101-107.

Nelder, J.A. 1966. Inverse polynomials a usefull group of multifactor response function. Biometric 22:128-141.

Preston, T.R. 1976. Prospects for the intensification of cattle production in developing countries. In: Beef Cattle Production in Developing Countries. A.J. Smith (Ed.), Scotland, University of Edinburgh Press, p.242-257.

Preston, T.R. and Leng, R.A. 1987. Matching ruminant production systems with available resources. Armidale, Australia. Penambul Books. 245 pp.

Restrepo, J.I., Murgueitio, E., Preston, T.R. 1991. Milk production systems in tropical Latin America. In: Feeding Dairy Cows in the Tropics. A. Speedy, R. Sansou (Eds.). Rome, Italy. Food and Agriculture Organization. Animal Production and Health Paper, Nº 86, 244 pp.

Rodríguez, Y. 1987. Comportamiento de la curva de lactancia de vacas Holstein en condiciones tropicales. Rev. Cub. Reprod. Anim. 13(2):103-111.

Sere E. C. and Vaccaro, Y. 1985. Milk production from dual-purpose systems in tropical Latin America. In: Milk production in Developing Countries. A.J. Smith (Ed.). Scotland, University of Edinburgh Press, p. 459-475.

Sere, C. and Rivas, Y. 1987. The advantages and disadvantages of promoting expanded dairy production in dual purpose herds: Trends in CIAT commodities. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical, p. 27-39.

Vujicic, Y. and Bacic, B. 1961. New equation of lactation curve. Novi. Sad. Ann. Scc. Agric. p. 5-10.

Wood, P. D. P. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. Nature 216:164-165.

Wood, P.D.P. 1968. Factors affecting persistency of lactation in cattle. Nature 218:894-899.

Wood, P.D.P. 1969. Factors affecting the shape of the lactation curve in cattle. Anim. Prod. 11(3):307-316.

Wood, P.D.P. 1976. Algebraic models of the lactation curves for milk, fat and protein production, with estimates of seasonal variation. Anim. Prod. 22:35-40.

Wood, P.D.P. 1979. A simple model of lactation curves for milk yield, food requeriment and body weight. Anim. Prod. 28:55-63.