

# Factores que afectan la curva de lactancia de vacas *Bos taurus* x *Bos indicus* en un sistema de doble propósito en el trópico húmedo de Tabasco, México

## Factors affecting the lactation curve of *Bos taurus* x *Bos indicus* cows in a dual purpose system in the humid tropics of Tabasco, Mexico

Mario M. Osorio-Arce<sup>a</sup>, José C. Segura-Correa<sup>b</sup>

### RESUMEN

Los objetivos fueron describir las curvas de lactancia de vacas Holstein x Cebú (HC) y Holstein x Sahiwal (HS) en un sistema de doble propósito en Tabasco, México, determinar el efecto de algunos factores ambientales en los parámetros de la curva de lactancia y calcular sus índices de constancia ( $r_e$ ). Los parámetros de la curva de lactancia: a = producción de leche al inicio de la lactancia, b = pendiente de la curva de lactancia hasta alcanzar el pico de producción de leche (PPL) y c = pendiente después del PPL, fueron estimados mediante el modelo de Wood. El coeficiente a y el PPL fueron influenciados por todos los factores estudiados y la persistencia de producción por el año y época de parto. Los coeficientes b y c fueron influenciados por año de parto. Los coeficientes a, b y c para las lactancias de las vacas HC y HS fueron: 7.49, 0.178 y 0.0037 y 6.70, 0.196 y 0.0036, respectivamente. Las vacas paridas en la época de nortes tuvieron menores PPL que las vacas paridas en las épocas seca o lluviosa. Las vacas de primer parto tuvieron valores de a y PPL más bajos que las vacas con dos o más lactancias. El valor moderado de los  $r_e$  para a (0.35), PPL (0.42) y su correlación fenotípica con producción de leche durante la lactancia indican la posibilidad de utilizarlos como criterios para el desecho de vacas.

**PALABRAS CLAVE:** Ganado de doble propósito, Curva de lactancia, Trópico.

### ABSTRACT

The objectives were to describe the lactation curves of Holstein x Zebu (HZ) and Holstein x Sahiwal (HS) cows in a dual-purpose cattle system in Tabasco, Mexico, to determine the effect of some environmental factors on the parameters of the lactation curves and to estimate their repeatabilities ( $r_e$ ). The parameters of the lactation curve: a=milk production at the beginning of lactation; b=slope of the lactation curve up to the peak of milk production (PMP) and c=slope after the PMP, were estimated using the Wood model. The coefficient a and the PMP were influenced for all the factors studied and the persistency of production by year and season of calving. The coefficients b and c were influenced by year of calving. The coefficients a, b and c for the lactations of the HC and HS cows were: 7.49, 0.178 and 0.0037 and 6.70, 0.196 and 0.0036, respectively. Cows calving in the wet season had lower PMP values than those calving in the dry or rainy seasons. First parity cows had lower a and PMP values than cows with two or more lactations. The moderate  $r_e$  values of a (0.35), PMP (0.42) and their phenotypic correlation with milk yield during the whole lactation, suggest that they can be used as criteria for culling cows.

**KEY WORDS:** Dual purpose cattle, Lactation curve, Tropic.

La producción de leche por vida de una vaca es un rasgo básico en la eficiencia de los sistemas de producción de leche, pero para comprenderla mejor

A cow's lifetime milk production is a basic characteristic in milk production system efficiency. To better understand and manage its contribution

---

Recibido el 21 de abril de 2004 y aceptado para su publicación el 13 de agosto de 2004.

<sup>a</sup> Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados, Apdo. Postal 24 Cárdenas, Tabasco. mosorio@colpos.colpos.mx.. Correspondencia al primer autor.

<sup>b</sup> Facultad de Medicina Veterinaria. UADY.

y manejar su contribución, es necesaria una clara descripción de la curva de lactancia de las vacas, que resulta de gran utilidad para programar prácticas de manejo y de mejoramiento genético del ganado lechero en varios sistemas<sup>(1,2,3,4)</sup>. En sistemas intensivos de producción de leche de zona templada los modelos de Wood<sup>(1)</sup>, Batra<sup>(5)</sup> y Grossman y Koops<sup>(6)</sup> han sido útiles para describir la producción de leche durante la lactancia; sus ecuaciones difieren pero describen bien las curvas de lactancia<sup>(7)</sup>. Grossman y Koops<sup>(6)</sup> prefirieron el modelo de Wood y Batra por razones de estadística, simplicidad y ajustar mejor sus datos.

Para condiciones de lechería del trópico con vacas cruzadas, Cebú o *Bos taurus* algunos autores han usado satisfactoriamente el modelo de Wood<sup>(3,8,9)</sup>. La producción de leche en un sistema bovino de doble propósito en el trópico latinoamericano con vacas *Bos taurus* x *Bos indicus* de mediano potencial lechero y en pastos nativos, se complica más con el sistema de amamantamiento con becerro. La producción de leche es afectada por una interacción del becerro con la vaca y por el manejo del amamantamiento de la cría.

Los objetivos de este estudio fueron describir la curva de producción de leche durante la lactancia, así como determinar el efecto de algunos factores ambientales y grupo genético, sobre los parámetros de la curva de lactancia en un sistema bovino de doble propósito en el trópico húmedo de México.

El presente estudio se realizó con datos obtenidos de 1992 a 1999 de 315 lactancias de 118 vacas en un sistema bovino de doble propósito del Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados, situado en el km 21 de la Carretera Cárdenas-Coatzacoalcos, México. El clima de la región es tropical húmedo<sup>(10)</sup> con una media de temperatura mensual anual de 26 °C pero con oscilaciones térmicas diarias de 25 a 50 °C en primavera y verano, y de 16 a 20 °C durante las noches en invierno. La media de precipitación anual es de 2,240 mm con 70 % en el verano y el otoño. La humedad relativa media mensual es superior a 80 %. La variación climática permite reconocer tres épocas: seca de marzo a

to a system, a clear description of the lactation curve is needed as it is extremely useful in programming management and genetic improvement of milk cows in different systems<sup>(1,2,3,4)</sup>. The models of Wood<sup>(1)</sup>, Batra<sup>(5)</sup> and Grossman and Koops<sup>(6)</sup> have been useful in describing milk production during lactation in intensive milk production in temperate zones. Though their equations differ, they all effectively describe lactation curves<sup>(7)</sup>. Grossman and Koops<sup>(6)</sup> prefer the Wood and Batra model for statistical reasons, its simplicity and its better fit to data.

Wood's model<sup>(3,8,9)</sup> has been satisfactorily applied in tropical milk production conditions with crossbred cows (Zebu or *Bos taurus*). Its application becomes complex, however, in milk production in the dual-purpose bovine systems of tropical Latin America using *Bos taurus* x *Bos indicus* cows with partial milking potential and using native grasses as feed. The main complicating factor is the calf nursing system, which affects milk production due to the calf's interaction with the cow and management of calf nursing.

This study was aimed at describing the milk production curve during lactation and determining the effect of some environmental factors and genetic group on lactation curve parameters in a dual-purpose bovine system in the humid tropics of Mexico.

Data for the present study were collected between 1992 and 1999 from 315 lactations in 118 cows in a dual-purpose bovine system at the Colegio de Postgraduados in the state of Tabasco, Mexico. Regional climate is humid tropical<sup>(10)</sup>, with an average annual monthly temperature of 26 °C, a maximum temperature range of 25 to 50 °C (daytime in spring and summer), and a minimum of 16 to 20 °C (nighttime in winter). Mean annual precipitation is 2,240 mm with 70 % occurring in summer and fall. Mean monthly relative humidity is over 80 %. Climate changes throughout the annual cycle take the form of three general seasons: dry from March to May; rainy from June to October; and wet from November to February.

mayo; lluviosa de junio a octubre; y nortes de noviembre a febrero.

Las vacas de este hato pertenecían a los grupos genéticos:  $\frac{3}{4}$  Holstein x  $\frac{1}{4}$  Cebú comercial (HC) con dos generaciones de selección y apareamiento *inter se*; y  $\frac{1}{2}$  Holstein x  $\frac{1}{2}$  Sahiwal (HS)<sup>(11)</sup>. Estas últimas son hembras F<sub>2</sub> nacidas en el trópico de México, de vacas F<sub>1</sub> Holstein x Sahiwal traídas de Nueva Zelanda en 1992. Las vacas pastaban en praderas de Estrella africana (*Cynodon plestostachyus*), se ordeñaban dos veces al día (0730 y 1630) y recibían 2 kg de una mezcla energético-proteica (16 % de proteína y 2.3 Mcal EM/kg) elaborada con subproductos de la región. Los becerros apoyaban a las vacas en el ordeño y tomaban la leche residual para luego regresar a su potrero (crianza restringida). Durante el primer mes de lactancia se le dejaba al becerro un cuarto de la ubre; mientras que del segundo al último mes los becerros recibieron leche residual. Los pesajes de leche se hicieron semanalmente y correspondían exclusivamente a la ordeñada, sin considerar la que consumió el becerro. Se analizaron 315 lactancias entre 140 y 308 días de 92 de vacas HC (233 lactancias) y 26 vacas HS (82 lactancias).

La curva de lactancia para cada una de las vacas se describió utilizando la función gama incompleta:

$$y_t = at^b e^{-ct}$$

donde:  $Y_t$  = es la producción de leche a un tiempo  $t$ ;  $a$ ,  $b$  y  $c$  son los parámetros que describen la forma de la curva y  $e$  es la base de los logaritmos naturales. El parámetro  $a$  es la producción de leche al inicio de la lactancia;  $b$  y  $c$  son los parámetros de las pendientes de producción de leche antes y después del pico de producción (producción máxima de leche). Los estimadores de los parámetros se obtuvieron usando el procedimiento NLIN del programa SAS<sup>(12)</sup>. En el modelo de Wood la lactancia alcanza un máximo a un tiempo  $t=b/c$ , con una producción de leche esperada al pico,  $a(b/c)^b \exp^{-b}$ . La persistencia se midió como  $s = -(b+1)\ln c$ <sup>(13)</sup>; notándose que cuando  $c$  es menor que 0, la persistencia no es estimable y que cuando además  $b$  es menor que 0 la función no tiene pico de producción.

Cows in the studied herd were from two genetic groups:  $\frac{3}{4}$  Holstein x  $\frac{1}{4}$  commercial Zebu (HZ) with two generations of selection and *inter se* mating; and  $\frac{1}{2}$  Holstein x  $\frac{1}{2}$  Sahiwal (HS)<sup>(11)</sup>. The latter group consisted of F<sub>2</sub> females born in the Mexican tropics from F<sub>1</sub> Holstein x Sahiwal cows brought from New Zealand in 1992. The cows fed on stargrass (*Cynodon plestostachyus*), were milked twice a day (0730 and 1630) and received 2 kg of energy-protein mixture (16 % protein and 2.3 Mcal EM/kg) made from local byproducts. Calves were subject to a restricted feeding regimen in which they supported the cows during milking and drank any residual milk before returning to pasture. In this regimen the calf was given one quarter of the udder during the first month of lactation and then only residual milk beginning in the second month and continuing until weaning. Milk was weighed on a weekly basis and only included the extracted milk, excluding any consumed by the calf. A total of 315 lactations were analyzed ranging from 140 to 308 in length in 92 HZ cows (233 lactations) and 26 HS cows (82 lactations).

The lactation curve for each cow was described with the incomplete gamma function:

$$y_t = at^b e^{-ct}$$

where:  $Y_t$  = milk production in time  $t$ ;  $a$ ,  $b$  and  $c$  are parameters describing curve shape and  $e$  is the base of the natural logarithms. Parameter  $a$  is milk production at the beginning of lactation;  $b$  is the slope before (pre-peak) peak milk production (PMP); and  $c$  is the slope after (post-peak) PMP. Parameter estimators were obtained using the NLIN procedure in the SAS computer program<sup>(12)</sup>. In Wood's model, lactation reaches a maximum at time  $t = b/c$ , with an expected production at PMP of  $a(b/c)^b \exp^{-b}$ . Persistence was measured as  $s = -(b+1)\ln c$ <sup>(13)</sup>; noting that when  $c$  is less than 0, persistence cannot be estimated, and that when  $b$  is less than 0 the function has no peak production.

The effects of the simple interaction between genetic group and the fixed effects of year, season and lactation number on the  $a$ ,  $b$  and  $c$  parameters

Los efectos de las interacciones simples de grupo genético con los efectos fijos de año, época del año y número de lactancia, sobre los parámetros **a**, **b** y **c** se probaron mediante un modelo de efectos fijos utilizando el procedimiento GLM de SAS<sup>(12)</sup>, pero estos no fueron significativos ( $P > 0.05$ ). El modelo mixto final para determinar la influencia de los factores fijos sobre **a**, **b**, **c**, pico de producción, tiempo en que se alcanza la máxima producción de leche y persistencia (s), fue:

$$Y_{ijklmn} = \mu + A_i + E_j + NL_k + G_l + V_{m(l)} + e_{ijklmn}$$

donde  $Y_{ijklmn}$  es el n-ésimo coeficiente de la curva de Wood para la vaca m, del grupo genético l, en su parto k, en la época j, del año i;  $\mu$  es la media general;  $A_i$ ,  $E_j$ ,  $NP_k$  y  $G_l$  son los efectos fijos de año ( $i = 1 \dots 8$ ), época ( $j = 1 \dots 3$ ), número de lactancia ( $k = 1 \dots 5$ ) y grupo genético ( $l = 1, 2$ ); y  $V_{m(l)}$  y  $e_{ijklmn}$  son los efectos aleatorios de la vaca dentro de  $G_l N(0, \sigma_v^2)$  y el error asociado a cada observación  $N(0, \sigma^2)$ , respectivamente. Para el análisis de la información con el modelo mixto, se utilizó el procedimiento "Mixed" del programa SAS<sup>(12)</sup>; el cual usó una matriz de simetría compuesta, la cual utiliza la misma varianza y correlación para todos los pares de medidas de una misma vaca. Según Stanton *et al.*<sup>(14)</sup>, ésta es la estructura de matriz de varianzas y covarianzas más utilizada en el análisis fenotípico de medidas repetidas.

Las repetibilidades de los parámetros de las curvas de lactancia, pico de producción y persistencia, se calcularon dividiendo el componente de varianza debida a vaca dentro grupo genético, entre la suma de los componentes de varianza de vaca y el residual. La duración de la lactancia y la producción de leche por lactancia de las vacas utilizadas en este estudio, han sido descritas con anterioridad<sup>(15)</sup>, y se utilizaron para calcular las correlaciones parciales entre los parámetros de las curvas, pico de producción, persistencia de lactancia, largo de lactancia y producción de leche por lactancia; para ello se utilizó la opción "Manova" del procedimiento GLM<sup>(12)</sup>.

### Curva de lactancia y estimadores de los parámetros

El modelo de Wood que utiliza la función gama incompleta para describir la curva de lactancia, dio

were tested with a fixed effects model using the GLM procedure of the SAS program<sup>(12)</sup>. These effects were found to be no significant ( $P > 0.05$ ). The final mixed model to determine the influence of the fixed factors on **a**, **b**, **c**, PMP, time to maximum milk production and persistence(s) was:

$$Y_{ijklmn} = \mu + A_i + E_j + NL_k + G_l + V_{m(l)} + e_{ijklmn}$$

where  $Y_{ijklmn}$  is the n-th coefficient of the Wood curve for cow m, of genetic group l, in its calving number k, in season j and year i;  $\mu$  is the general mean;  $A_i$ ,  $E_j$ ,  $NP_k$  and  $G_l$  are the fixed effects of year ( $i = 1 \dots 8$ ), season ( $j = 1 \dots 3$ ), lactation number ( $k = 1 \dots 5$ ) and genetic group ( $l = 1, 2$ );  $V_{m(l)}$  is the random effect of the cow in  $G_l N(0, \sigma_v^2)$ ; and  $e_{ijklmn}$  is the error associated with each observation  $N(0, \sigma^2)$ . Analysis of the information was carried out with the Mixed procedure of the SAS program<sup>(12)</sup>, which uses a compound symmetry matrix with the same variance and correlation for all measured pairs of the same cow. According to Stanton *et al.*<sup>(14)</sup>, this variance and covariance matrix structure is that which is commonly used in phenotypic analysis of repeated measurements.

The repeatability's for the lactation curve, peak production and persistence parameters were calculated dividing the cow variance component within the genetic group by the cow variance components and the residual. Data on length of lactation and milk production per lactation, described in another study<sup>(15)</sup>, were used to describe the partial correlations between the lactation curves, peak production, lactation persistence, lactation length and milk production per lactation parameters with the Manova option of the GLM procedure<sup>(12)</sup>.

### Lactation curve and parameter estimators

The Wood model, which uses the incomplete gamma function to describe the lactation curve, produced 290 lactation curves with positive a, b and c values, 19 with negative b values and six with negative b and c values.

The shape of the lactation curves for the HZ and HS cows (Figure 1) was similar to that reported for Holstein cows in temperate climates<sup>(1,7,16)</sup>, but

290 lactancias con valores de **a**, **b** y **c** positivos, 19 curvas de lactancia con valores de **b** negativos y seis con valores de **b** y **c** negativos.

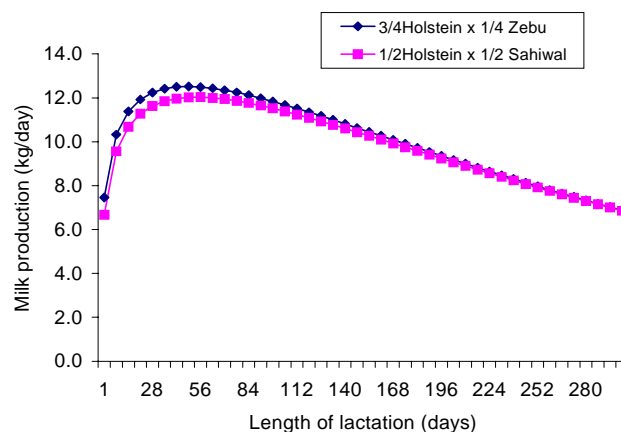
Las curvas de lactancia para las vacas HC y HS generadas utilizando los parámetros de la función gama incompleta se presentan en la Figura 1. La forma de las curvas de lactancia, son similares a las notificadas para vacas Holstein en clima templado<sup>(1,7,16)</sup>; diferente a la notificado por otros autores, quienes indican que la lactancia de vacas en pastoreo en el trópico, normalmente se distribuye linealmente, con un pico de producción poco pronunciado o ausente, especialmente en vacas de primer parto<sup>(3,9,17,18)</sup>; lo que indica que el manejo, tipo de animales y selección practicada en el hato aquí investigado tienen un efecto importante en la curva de lactancia.

Los estimadores de **a** para las lactancias de vacas HC y HS encontrado en este estudio (Cuadro 1) son inferiores a los notificados en Brasil<sup>(3)</sup> para vacas F<sub>1</sub> Holstein x Gyr (logaritmo natural (ln)  $a=2.55$ ),  $\frac{3}{4}$  Holstein x  $\frac{1}{4}$  Gyr (ln  $a=2.43$ ) y Holstein puro (ln  $a=2.39$ ); asimismo es inferior al valor de  $a=4.58$  (considerando la producción total de leche de una semana) notificado en ganado Suizo en pastoreo en México<sup>(9)</sup>; pero mayor que el valor encontrado (ln  $a=1.62$ ) en vacas Harijana en la India<sup>(8)</sup>. Estas diferencias podrían estar asociadas a los grupos genéticos de animales y manejo específico de cada hato; asimismo, al hecho de que sólo se midió la leche vendible, no considerándose la leche consumida por el becerro.

Las pendientes pre-pico de las vacas HC y HS ( $0.178 \pm 0.011$  y  $0.196 \pm 0.016$ , respectivamente) son mayores que la notificada en ganado Suizo en condiciones tropicales<sup>(9,17,18)</sup>; para ganado Holstein y sus cruza con Gyr ( $0.015-0.022$ )<sup>(3)</sup> y Holstein en Brasil ( $b=0.101$ )<sup>(16)</sup>; esto posiblemente asociado a las producciones de leche iniciales. En este estudio se encontró una correlación negativa entre la producción de leche inicial y la pendiente prepico (Cuadro 2), lo que indica que las vacas que iniciaron con bajas producciones tuvieron pendientes positivas más pronunciadas que aquéllas que iniciaron con niveles mayores de producción.

Figura 1. Curvas de lactancia de vacas  $\frac{3}{4}$  Holstein x  $\frac{1}{4}$  Cebú y  $\frac{1}{2}$  Holstein x  $\frac{1}{2}$  Sahiwal en el trópico húmedo de México

Figure 1. Lactation curves for  $\frac{3}{4}$  Holstein x  $\frac{1}{4}$  Zebu and  $\frac{1}{2}$  Holstein x  $\frac{1}{2}$  Sahiwal cows in subtropical Mexico



different than that reported for cows grazing in the tropics, which is linear with a slight or absent production peak, especially in first parity cows<sup>(3,9,17,18)</sup>. This indicates that management, animal type and selection had significant effects on the lactation curves of the herd here studied.

The lactation estimators for the HZ and HS cows in the present study (Table 1) were lower than those reported for F<sub>1</sub> Holstein x Gir (natural logarithm (ln)  $a= 2.55$ ),  $\frac{3}{4}$  Holstein x  $\frac{1}{4}$  Gir (ln  $a= 2.43$ ) and pure Holstein (ln  $a= 2.39$ ) in Brazil<sup>(3)</sup>. They were also lower than the  $a= 4.58$  (including total weekly milk production) reported for Brown Swiss cattle grazing in Mexico<sup>(9)</sup>, but higher than the  $a= 1.62$  reported for Harijana cows in India<sup>(8)</sup>. These differences may be associated with genetic groups, the specific management of each herd, or even with the fact that only salable milk, and not that consumed by the calf, was measured.

The pre-peak slopes for the HZ ( $0.178 \pm 0.011$ ) and HS ( $0.196 \pm 0.016$ ) cows were both higher than reported for Brown Swiss cows in tropical conditions<sup>(9,17,18)</sup>, and for Holstein and crosses with Gir ( $0.015-0.022$ )<sup>(3)</sup> and Holstein in Brazil ( $b= 0.101$ )<sup>(16)</sup>. This may be due to initial milk

Cuadro 1. Medias de cuadrados mínimos para los parámetros de la curva de lactancias de vacas *Bos taurus* x *Bos indicus* usando el modelo de WoodTable 1. Least squares means for *Bos taurus* x *Bos indicus* lactation curve parameters using Wood's model

	No	Initial production	Pre-peak slope	Post-peak slope (x10 <sup>-2</sup> )
Genotype:				
Holstein x Zebu	233	7.49±0.304 <sup>a</sup>	0.178±0.011 <sup>a</sup>	0.366±0.018 <sup>a</sup>
Holstein x Sahiwal	82	6.70±0.421 <sup>b</sup>	0.196±0.016 <sup>a</sup>	0.364±0.028 <sup>a</sup>
No. lactation:				
1	110	6.09±0.37 <sup>a</sup>	0.177±0.015 <sup>a</sup>	0.322±0.026 <sup>a</sup>
2	75	6.73±0.40 <sup>ab</sup>	0.184±0.017 <sup>a</sup>	0.343±0.029 <sup>a</sup>
3	53	7.87±0.46 <sup>c</sup>	0.164±0.020 <sup>a</sup>	0.336±0.034 <sup>a</sup>
4	36	7.70±0.54 <sup>bc</sup>	0.193±0.024 <sup>a</sup>	0.401±0.040 <sup>a</sup>
5	41	7.06±0.57 <sup>abc</sup>	0.218±0.023 <sup>a</sup>	0.413±0.039 <sup>a</sup>
Season of calving:				
Dry	81	6.91±0.39 <sup>a</sup>	0.187±0.016 <sup>a</sup>	0.361±0.027 <sup>a</sup>
Rainy	123	7.37±0.35 <sup>a</sup>	0.188±0.014 <sup>a</sup>	0.391±0.023 <sup>a</sup>
Wet	111	7.00±0.36 <sup>a</sup>	0.185±0.014 <sup>a</sup>	0.337±0.024 <sup>a</sup>

abc Means with different letter superscripts by factor and column are significantly different ( $P<0.05$ ).

El pico de producción de leche fue  $11.89 \pm 0.25$  kg para las vacas HC y  $11.01 \pm 0.36$  kg para las vacas HS, los cuales se alcanzaron a los 51.9 y 61.3 días, respectivamente. El tiempo en que las vacas de este estudio alcanzaron su pico de producción de leche es ligeramente mayor que el reportado en la literatura<sup>(3,9,16)</sup>.

La persistencia de la vacas HC( $6.76 \pm 0.047$ ) y HS ( $6.93 \pm 0.073$ ) es mayor al valor notificado ( $s=4.18$ ) en ganado Suizo Pardo<sup>(9)</sup> y a los calculados con base en los resultados de Madalena<sup>(3)</sup> para vacas  $\frac{1}{2}$  Holstein x  $\frac{1}{4}$  Gyr ( $s=5.89$ ) y  $\frac{3}{4}$  Holstein x  $\frac{1}{4}$  Gyr ( $6.08$ ). Asimismo, fueron mayores al valor de 6.49 calculado de los resultados para vacas Holstein en Brasil<sup>(16)</sup>; posiblemente asociado a que en esos trabajos los niveles iniciales de producción fueron más elevados que los obtenidos en este estudio. La correlación entre producción inicial de leche y persistencia fue negativa (Cuadro 2). Además la producción de leche con base en el pastoreo no permite a las vacas con altos niveles de producción inicial mantenerla durante toda la lactancia.

productions of the cows. In the present study, a negative correlation was found between initial milk production and the pre-peak slope (Table 2) that indicates that the cows beginning with low production levels had more pronounced positive slopes than those beginning with higher production levels.

Peak milk production was  $11.89 \pm 0.25$  kg at 51.9 days for the HZ cows and  $11.01 \pm 0.36$  kg at 61.3 days for the HS cows. The time at which the cows in the present study reached PMP was slightly higher than that reported in the literature<sup>(3,9,16)</sup>.

Persistence of the HZ ( $6.76 \pm 0.047$ ) and HS ( $6.93 \pm 0.073$ ) cows was higher than that reported for Brown Swiss cattle ( $s=4.18$ )<sup>(9)</sup>, and than that calculated based on results for  $\frac{1}{2}$  Holstein x  $\frac{1}{4}$  Gir ( $s=5.89$ ) and  $\frac{3}{4}$  Holstein x  $\frac{1}{4}$  Gir ( $6.08$ ) cows<sup>(3)</sup>. They were also higher than the 6.49 calculated from data for Holsteins in Brazil<sup>(16)</sup>. This is likely because the initial production levels in those studies were higher than in the present study. Indeed, the correlation between initial milk production and persistence (Table 2) was negative in the present

Cuadro 2. Coeficientes de correlación parcial entre los parámetros de las curvas de lactancias de vacas Holstein x Cebú y Holstein x Sahiwal en un sistema de doble propósito

Table 2. Partial correlation coefficients between lactation curves estimators for Holstein x Zebu and Holstein x Sahiwal cows in a dual-purpose system

	b	c	peak	m	s	DL	MP
a	-0.768**	-0.372**	+0.496**	-0.536**	-0.471**	+0.291**	+0.449**
b		+0.707**	+0.058ns	+0.366**	0.301**	-0.232**	-0.182**
c			+0.210**	-0.214**	-0.382**	-0.544**	-0.397**
pico				-0.161**	-0.239**	+0.330**	+0.707**
m					+0.832**	+0.275**	0.227**
s						+0.378**	+0.260**
DL							+0.819**

a= initial milk production; b= pre-peak milk production slope; c= post-peak production slope; peak= maximum milk production during lactation; m= time to peak; s= production persistence; DL= duration of lactation; MP= milk production per lactation.

\*\*( $P < 0.01$ ); ns= not significant.

### Factores que afectan los parámetros de la curva de lactancia

Las medias ajustadas para cada uno de los coeficientes de la curva de lactancia se presentan en el Cuadro 1, y para el tiempo en que las vacas alcanzaron su máxima producción, pico de producción y persistencia se presentan en el Cuadro 3.

#### Grupo genético

Grupo genético tuvo efecto ( $P < 0.05$ ) sobre la producción inicial de leche, pico de producción y persistencia, pero no influyó las pendientes pre y pos pico. La producción inicial de leche y pico de producción fueron mayores para las vacas HC (Cuadro 1). Esto posiblemente asociado con la mayor proporción de genes Holstein (3/4 H) del grupo HC en comparación con las vacas del grupo HS (1/2 H), así como al tamaño de los animales. Las vacas HC pesaron en su primer parto 412 kg comparado con las HS que pesaron 384 kg<sup>(19)</sup>.

Los grupos genéticos en estudio tuvieron lactancias con forma muy parecida, ya que los parámetros **b** y **c**, fueron similares entre grupos. El pico de producción ocurrió a las 51.9 días de producción en las vacas HC y a los 61.3 días para las vacas

study. An additional factor is that milk production based on grazing does not allow cows with high initial production levels to maintain it throughout their lactation.

#### Factors affecting lactation curve parameters

A number of factors affected the lactation curves in the present study, as can be seen in the adjusted means of the lactation curve coefficients (Table 1) and the time the cows required to reach maximum production, peak production and persistence (Table 3).

#### Genetic group

Genetic group affected ( $P < 0.05$ ) initial milk production, peak production and persistence, but did not affect the pre- and post-peak slopes. Initial milk production and PMP were higher in the HZ cows (Table 1), which may be due to the higher proportion of Holstein genes in the HZ group (3/4 H) in comparison to the HS group (1/2 H). Animal size may be another factor since the HZ cows weighed 412 kg at first parity versus 384 kg for the HS cows<sup>(19)</sup>.

The shape of the lactation curves of both genetic groups was very similar since the **b** and **c** parameters

Cuadro 3. Medias de cuadrados mínimos para tiempo al alcanzar el pico de producción (m), persistencia y pico de producción de la lactancia de vacas *Bos taurus* x *Bos indicus* usando el modelo de WoodTable 3. Least squares means for time to lactation peak production (m), persistence and peak production in *Bos taurus* x *Bos indicus* cows using Wood's model

	No	m (days)	Persistence	Peak production (kg)
Genotype:				
Holstein x Zebu	217	51.91±2.43 <sup>a</sup>	6.76±0.047 <sup>a</sup>	11.89±0.25 <sup>b</sup>
Holstein x Sahiwal	73	61.30±3.76 <sup>b</sup>	6.93±0.073 <sup>b</sup>	11.01±0.36 <sup>a</sup>
No. lactation:				
1	101	62.81±3.25 <sup>a</sup>	6.97±0.063 <sup>b</sup>	9.69±0.29 <sup>a</sup>
2	70	60.52±3.60 <sup>ab</sup>	6.95±0.069 <sup>b</sup>	10.65±0.31 <sup>b</sup>
3	47	55.03±4.34 <sup>ab</sup>	6.80±0.084 <sup>b</sup>	12.25±0.36 <sup>c</sup>
4	33	51.27±4.91 <sup>a</sup>	6.70±0.096 <sup>a</sup>	12.80±0.40 <sup>c</sup>
5	39	53.38±4.94 <sup>ab</sup>	6.82±0.096 <sup>ab</sup>	12.01±0.44 <sup>c</sup>
Season of calving:				
Dry	74	53.79±3.58 <sup>a</sup>	6.79±0.067 <sup>a</sup>	11.47±0.30 <sup>b</sup>
Rainy	112	55.57±3.06 <sup>a</sup>	6.81±0.059 <sup>a</sup>	11.90±0.28 <sup>b</sup>
Wet	104	60.45±3.10 <sup>a</sup>	6.94±0.060 <sup>a</sup>	11.08±0.28 <sup>a</sup>

<sup>abc</sup> Means with different letter superscripts by factor and column are significantly different ( $P<0.05$ ).

HS ( $P<0.05$ ). Las persistencias estimadas fueron 6.76 para HC y 6.93 para HS ( $P<0.05$ ), las cuales son mayores al valor de 5.89 obtenido en vacas F<sub>1</sub> Holstein-Cebú<sup>(3)</sup> y al valor de 4.30 notificado en vacas Suizas en el trópico en México<sup>(9)</sup>. La mayor persistencia en las vacas HS en comparación con las vacas HC pudiera deberse a que las primeras tienen niveles iniciales de producción de leche menores que las vacas HC.

#### *Año de parto*

Año de parto tuvo efecto sobre todos los parámetros de la curva de lactancia. El año de parto es una fuente de variación difícil de explicar, cuyo efecto es debido a factores de manejo, ambientales y sus interacciones, que están confundidos en estudios de este tipo; sin embargo, deben ser considerados en el modelo estadístico para remover los efectos de esta fuente de variación, y obtener estimadores más precisos de los factores de interés. El efecto de año sobre los coeficientes de la curva de lactancia concuerda con lo presentado por otros autores en el trópico de México y Brasil<sup>(3,9)</sup>.

were similar between them. The production peak occurred at 51.9 production days in the HZ cows and at 61.3 d in the HS cows ( $P<0.05$ ). Estimated persistences were 6.76 for the HZ and 6.93 for the HS ( $P<0.05$ ), both of which were higher than the 5.89 reported for F<sub>1</sub> Holstein-Zebu<sup>(3)</sup> cows and the 4.30 for Brown Swiss cows in the Mexican tropics<sup>(9)</sup>. The higher persistence seen in the HS versus the HZ may be due to the former having lower initial milk production levels than the latter.

#### *Year of calving*

The year of calving had an effect in all the lactation curve parameters. Year of calving is a variation source that is difficult to explain, but whose effects come from management and environmental factors and the interactions between them. These factors and their interactions are easily confounded in these kinds of studies, but they need to be included in the statistical model to remove their effects as a variation source and thus produce more accurate estimators of the factors of interest. This effect of year of calving on the lactation curve coefficients coincides with reports from tropical Mexico and Brazil<sup>(3,9)</sup>.



*Número de parto*

Número de parto tuvo efecto significativo ( $P < 0.05$ ) sobre la producción inicial de leche, tiempo al que las vacas alcanzan su máxima producción de leche, pico de producción y persistencia. El coeficiente **a** y pico de producción aumentaron y el tiempo a la máxima producción y persistencia disminuyeron de la primera a la cuarta lactancia ( $P < 0.05$ ). Efectos significativos del número de lactancia han sido notificados por algunos autores<sup>(3,9,20,21,22)</sup>. El efecto del número de parto sobre el inicio y pico de producción de leche se puede atribuir a que las vacas de primer parto no han terminado su desarrollo corporal, por lo que primero satisfacen sus requerimientos de mantenimiento y crecimiento y luego los de producción, razón por la cual tienen una menor producción de leche.

*Época de parto*

Época de parto sólo tuvo efecto ( $P < 0.05$ ) sobre el pico de producción, aunque se observó una tendencia a que las vacas paridas en los meses lluviosos iniciaran lactancias con niveles de producción de leche mayores que las vacas paridas en las épocas seca y nortes. En Nueva Zelanda se encontraron diferencias en la forma de la curva de lactancia de vacas Holstein paridas en primavera y otoño<sup>(4)</sup>; mientras que Wood<sup>(23)</sup> menciona que los efectos de época sobre la persistencia son dependientes del crecimiento y disponibilidad de pastos. El efecto de la época de parto sobre la curva de lactancia enfatiza la necesidad de un manejo diferencial, dependiendo de la época de parto para este sistema de producción; sin embargo, aunque la época de parto no parece tener efecto sobre la curva de lactancia, sí lo tiene sobre la producción de leche durante toda la lactancia de las vacas aquí estudiadas<sup>(15)</sup>.

*Índice de constancia*

Los índices de constancia para **a**, **b**, **c**, tiempo al alcanzar el pico, pico de producción y persistencia fueron: 0.27, 0.05, 0.06, 0.14, 0.41 y 0.14, respectivamente. En general, la producción de leche

*Number of calving*

Number of calving had a significant effect ( $P < 0.05$ ) on initial milk production, and the time required for the cows to reach maximum milk production, PMP and persistence. Progressing from the first to fourth lactation, the **a** coefficient and production peak increased while the time to maximum production and persistence decreased ( $P < 0.05$ ). This kind of significant effect of lactation number on production results has also been reported by other authors<sup>(3,9,20,21,22)</sup>. The effect of calving number on the beginning and peak of milk production may be due to the incomplete body development of first parity cows, meaning they first meet their own maintenance and growth requirements and then milk production needs, leading to lower milk production.

*Season of calving*

Season of calving only affected ( $P < 0.05$ ) PMP, though a certain tendency was seen for cows calving in the rainy season to begin lactation with higher milk production levels than cows calving in the dry and wet seasons. In New Zealand, differences have been reported in the shape of the lactation curve of Holsteins that calved in spring and autumn<sup>(4)</sup>, and Wood mentions that the effects of season of calving on persistence are dependent on growth and forage availability. This effect of season of calving on the lactation curve highlights the need for differential management adjusted to season of calving for this production system. Though season of calving does not seem to affect the lactation curve, it did affect milk production during the lactation life of the studied cows<sup>(15)</sup>.

*Repeatability*

The repeatability's were 0.27 for **a**, 0.05 for **b**, 0.06 for **c**, 0.14 for time to reach peak, 0.41 for PMP and 0.14 for persistence. Generally speaking, milk production at the beginning of lactation and PMP were moderately repeatable, while the **b** and **c** coefficients and persistence had low repeatability. This suggests that the lactation curve is more strongly influenced by environmental than genetic

al inicio de la lactancia y pico de producción de leche de una vaca es moderadamente repetible, mientras que los coeficientes **b**, **c**, y la persistencia son de repetibilidad baja. Esto sugiere que la curva de lactancia está influenciada en mayor grado por factores ambientales que por factores genéticos; sobre todo en los sistemas de producción donde el pasto es la fuente principal de alimentación, y la ordeña se realiza con apoyo del becerro. Los valores moderados de los índices de constancia para **a** y pico de producción, así como la correlación alta y positiva de estos con la producción de leche durante toda la lactancia, indican la posibilidad de utilizarlos en el cálculo de capacidades probables de producción, con el propósito de identificar las vacas a desechar anualmente. Wood<sup>(24)</sup> obtuvo índices de constancia para los parámetros de la curva moderadamente bajos: 0.10, 0.20, 0.23 y 0.18 para **a**, **b**, **c**, y **s**, respectivamente.

Se concluye que las curvas de lactancia para las vacas Holstein x Cebú y Holstein x Sahiwal tuvieron formas similares, aunque la producción inicial de leche fue mayor para las vacas Holstein x Cebú. Asimismo, el número de parto afectó la producción de leche al inicio de lactancia. El conocimiento de la magnitud de los parámetros de la curva de lactancia de los grupos genéticos evaluados en este estudio y de los factores ambientales que los afectan, permitirá mejorar la producción láctea, modificando el manejo y alimentación de acuerdo a los diferentes periodos de la lactancia.

## LITERATURA CITADA

1. Wood PDP. Factors affecting the shape of the lactation curve in cattle. *Anim Prod* 1969;11:307-316.
2. Wood PDP. Algebraic models of the lactation curves for milk, fat and protein production, with estimates of seasonal variation. *Anim Prod* 1976;22:35-40.
3. Madalena FE, Martinez ML, Freitas AF. Lactation curves of Holstein-Friesian and Holstein-Friesian x Gir cows. *Anim Prod* 1979;29:101-107.
4. Garcia SC, Holmes CW. Lactation curves of autumn- and spring-calved cows in pasture-based dairy systems. *Livest Prod Sci* 2001;68:189-203.
5. Batra TR. Comparison of two mathematical models in fitting lactation curves for pureline and crossline dairy cows. *Canadian*

factors, particularly in systems in which grass is the main food source and milking is done with the help of the calf. The moderate repeatability values for **a** and PMP, as well as their high, positive correlation with milk production throughout lactation indicate their possible use in calculating probable production capabilities with the end of identifying cows for culling. By comparison, Woods<sup>(24)</sup> recorded moderately low repeatabilities for curve parameters of 0.10 for **a**, 0.20 for **b**, 0.023 for **c** and 0.18 for **s**.

Overall, the Holstein x Zebu and Holstein x Sahiwal cows in this study had lactation curves with similar shapes though initial milk production was higher for the HZ cows. Number of calving also affected milk production at the beginning of lactation. Understanding the magnitude of the lactation curve parameters of the evaluated genetic groups and of the environmental factors that affect them can help in improving milk production through modification of management and feeding practices according to different lactation behaviors.

*End of english version*

---

*J Anim Sci* 1986;66:405-414.

6. Grossman M, Koops WJ. Multiphasic analysis of lactation curves in dairy cattle. *J Dairy Sci* 1988;71:1598-1608.
7. Tozer PR, Huffaker RG. Mathematical equations to describe lactation curves for Holstein-Friesian cows in New South Wales. *Aust J Agric Res* 1999;50:431-440.
8. Sing B, Bath PN, Kumar R. Factors affecting the shape of lactation curve in Hariana cattle. *Indian J Anim Sci* 1979;49:495-498.
9. Galavíz JR, Vázquez CG, Ruiz FJ, Lagunes JL, Calderón RR, Rosete JH. Factores ambientales que afectan la curva de lactancia en vacas Suizo Pardo en clima subtropical. *Téc Pecu Méx* 1998;36:163-171.
10. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köopen para adaptarlo a las condiciones de la Republica Mexicana. México DF: Instituto de Geografía, UNAM; 1988.
11. Osorio MM, Aranda E. Productividad de vacas *Bos taurus* x *Bos indicus* en un sistema de doble propósito en el trópico [resumen]. Memoria VII Reunión nacional de investigación pecuaria. INIFAP. Querétaro, Querétaro, México. 1999;123.
12. SAS Institute. User's Guide. Ver. 6.11. SAS Institute Inc. Cary, N.C. USA. 1996.
13. Wood PDP. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature* 1967;216:164-165.

## FACTORES QUE AFECTAN LA CURVA DE LACTANCIA

14. Stanton TL, Jones LR, Everett RV, Kachman SD. Estimating milk, fat and protein lactation curves with a test day model. *J Dairy Sci* 992;75:1691-1700.
15. Osorio-Arce MM y Segura-Correa JC. Producción de leche de vacas Holstein x Cebú en un sistema de doble propósito en el trópico húmedo [resumen]. Memoria XXIX Reunión anual de la Asociación Mexicana de Producción Animal. Cd. Victoria, Tamaulipas 2001:343-347.
16. Moraes Concalves T, Gomes de Oliveira AI, Fonseca de Freitas RT, García Pereira I. Curvas de lactacao em rebanhos da raza Holandesa no estado de Minais Gerais. Escolha do modelo de melhor ajuste. *R Bras Zootec* 2002;31:1689-1694.
17. Fomperosa HC, Barradas HV, Román PH. Comparación de dos sistemas de producción de leche con ganado Suizo Pardo en clima Tropical [resumen]. Reunión nacional de investigación pecuaria en México. México DF. 1982:459.
18. Treviño TR, Garza TR, Monroy LJ, González PMA. Producción de leche en pastoreo rotacional intensivo y semiintensivo de pasto Ferrer con vacas Suizo Pardo, Holstein y cruza Holstein x Cebú. *Tec Pecu Méx* 1981;21:7-15.
19. Osorio AMM, Segura CJC. Cambio de peso corporal durante la lactancia en vacas de doble propósito en el trópico. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* (Enviado, Febrero de 2004).
20. Rowlands GJ, Lucey S, Russell AM. A comparison of different models of the lactation curve in dairy cattle. *Anim Prod* 1982;35:135-144.
21. Gama LT, Carolino RN, Cruz AA, Carolino MI. Genetic parameter estimates for shape of the lactation curve in dairy cattle. *World Congress on Genetics Appl Livest Prod* 1994;17:132.
22. Gutiérrez HS, Apodaca SC. Efectos ambientales sobre los coeficientes de la ecuación de Wood y los componentes de la curva de producción de leche en vacas Holstein. XIV Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias. *Vet Méx* 1994:271.
23. Wood PDP. A note on seasonal fluctuations in milk production. *Anim Prod* 1972;15:89-92.
24. Wood PDP. A note on the repeatability of parameters of the lactation curve in cattle. *Anim Prod* 1970;12:535-538.

