

Producción de leche de vacas con diferente porcentaje de genes *Bos taurus* en el trópico mexicano

Effect of *Bos taurus* genes percentage on milk yield in crossbreed cows in the humid tropics of Mexico

Rufino López Ordaz^a, Rafael García Carreón^a, José Guadalupe García Muñiz^a, Rodolfo Ramírez Valverde^a

RESUMEN

El objetivo fue determinar el porcentaje óptimo de genes *Bos taurus* (BT) para producción de leche (PL) por lactancia (PTL), por vaca por día (PLD), por día de intervalo entre partos (PLIEP), al pico de lactancia (PLP), por día de vida en el hato (PLDVH), días al pico de lactancia (DP) y la persistencia (PE) de vacas cruzadas. La información analizada se originó de 1,220 lactancias completas de 577 vacas con proporciones diversas de genes BT y *Bos indicus* (BI), desde BI 100 % puros hasta $7/8$ BT $1/8$ BI de un rancho de Centro, Tabasco. El análisis fue con un modelo mixto que incluyó los efectos fijos de número, año y estación de parto, y los efectos aleatorios de semental y vaca anidada en semental; mientras que el porcentaje de genes BT se incluyó como covariable. Las vacas de primer parto presentaron PLT, PLD, PLIEP, PLP y PE inferiores a las de segundo parto; y éstas a su vez fueron inferiores a las de tercer parto. La PTL y PLD fueron máximas (2,898.3 y 9.8 kg) con 78.0 y 70.3 % de genes BT, respectivamente; después de dichas proporciones ambos parámetros tuvieron retornos decrecientes. Las vacas con 50 ó 61 % de genes BT presentaron PLDVH (2.3 kg) y PLIEP (6.9 kg) más altas ($P < 0.05$) que los demás porcentajes de genes. En conclusión, las vacas de 50 hasta 80 % de genes *Bos taurus* expresaron mayor potencial para producción de leche.

PALABRAS CLAVE: Cruzamiento, Ganado bovino tropical, Producción de leche.

ABSTRACT

Optimum percentage of *Bos taurus* (BT) genes in crossbreed cows under humid tropical conditions was determined based on milk yield variables: milk yield per lactation (MYL); MY per day (MYD); MY per day of calving interval (MYCI); peak MY (PMY); MY per day of herd life (MYDHL); days at peak MY (DPMY); and lactation persistency (LP). Data were collected at a commercial dual-purpose farm in Tabasco State, Mexico, and included 1220 full (270-d) lactations from 577 cows with BT and *Bos indicus* (BI) genes percentages ranging from pure breed to $7/8$ BT $1/8$ BI. Analysis was done with a mixed model that included the fixed effects of calving number, year and season, the random effects of sire and cow within sire, and the BT gene percentage as a covariable. First-calving cows had lower ($P < 0.05$) MYL, MYD, MYDCI, PMY and LP values than second-calving cows, and the latter had lower values than third-calving cows. The highest ($P < 0.05$) MYL (2,898.3) value was observed in 78.0 % BT cows and the highest MYD (9.8 kg) in 70.3 % BT cows. Both variables exhibited decreased returns after their respective peaks. The highest ($P < 0.05$) MYDHL (2.3 kg) and MYDCI (6.9 kg) were observed in 50 or 61 % BT cows. Cows in the 50 to 80 % BT range exhibited the most positive milk yield performance, however, when milk yield was analyzed in association with reproductive traits and management practices 50 and 60 % BT cows exhibited the best performance.

KEY WORDS: Crossbreeding, Tropical cattle, Milk yield.

La producción de leche (PL) en el país es insuficiente para satisfacer la demanda interna del producto. Una de las alternativas para incrementarla

Milk yield (MY) in Mexico is insufficient to meet domestic demand. One way of increasing supply is to improve yield in tropical areas. Approximately

Recibido el 19 de julio de 2007. Aceptado para su publicación el 8 de junio de 2009.

^aPostgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, México. 56230. Teléfono: + 52 (595) 95 21621. rlopezor@yahoo.com. Correspondencia al primer autor.

*Este estudio es parte de las tesis de Maestría en Ciencias del segundo autor.

es el mejoramiento de la producción de las áreas tropicales; generalmente, el 37 % de los trópicos de México se utilizan para la producción pecuaria (18'952,300 ha), y sirve de sustento a aproximadamente 12 millones de bovinos que producen el 28 y 39 % de la leche y carne, respectivamente, que se consume en México⁽¹⁾.

El mejoramiento de las condiciones tropicales depende de varios factores relacionados con el animal, el ambiente y la tecnología de producción; en el contexto del animal, y con base en la sostenibilidad de los sistemas surge como una alternativa el uso de animales locales (*Bos indicus*, BI) en cruzamientos con razas lecheras especializadas (*Bos taurus*, BT). Varios estudios han confirmado las ventajas del uso de *Bos taurus* X *Bos indicus* en condiciones tropicales^(2,3,4,5), y por otro lado, en el sureste mexicano se localizan muchos ranchos ganaderos con vacas cruzadas que se adaptan al consumo de forrajes tropicales, al ordeño mecánico y a la complementación con concentrados. Sin embargo, la información disponible de los animales cruzados con razas europeas, y adaptados a las condiciones locales proviene principalmente de hatos pequeños y con pocos genotipos⁽⁶⁾. Por lo anterior, es necesario generar información con animales de diferentes proporciones de genes BT y BI, para conocer la proporción óptima de genes BT y BI, y que sirva como una herramienta para escoger los tipos de animales que se utilizarán como base de los cruzamientos.

Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar la proporción óptima de genes de bovinos cruzados (BT x BI) para características relacionadas con el mejoramiento de la producción láctea en un sistema para producción de leche en el trópico mexicano.

El estudio se realizó con información de enero de 1999 a diciembre de 2004 con 1,220 lactancias de 270 días de 570 vacas *Bos taurus* (BT) X *Bos indicus* (BI). En dichos animales la proporción de genes BI fue variable desde 100 % puros hasta $\frac{1}{8}$ BI: $\frac{7}{8}$ BT; por ejemplo, las vacas con proporciones de $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{5}{8}$, y $\frac{3}{4}$ de genes BT fueron

37 % of the Mexican tropics are used for livestock production (18'952,300 ha), including 12 million head of cattle which produce 28 % of the country's milk and 39 % of its beef⁽¹⁾. Improving yield under tropical conditions depends on factors linked to the animal, environment and production technology. In the animal context, yield can be increased, while simultaneously striving for greater system sustainability, by using local animals (*Bos indicus*, BI) in crosses with specialized dairy breeds (*Bos taurus*, BT). A number of studies have confirmed the advantages of using the *Bos taurus* x *Bos indicus* cross in tropical conditions^(2,3,4,5), and many cattle ranches in southeast Mexico use cows of this cross which are successfully adapted to tropical forages, mechanical milking and diet supplementation with concentrates. Data on crosses between local and European breeds adapted to local conditions are generally from small herds and involve very few genotypes⁽⁶⁾. More data is needed from animals with different BI and BT gene proportions to better understand optimum gene proportions and thus more accurately select the genotypes to be used in crosses. The present study objective was to determine optimum gene proportions in BT x BI crosses for improving milk yield in a milk production system in the Mexican tropics.

The data used in the present analyses covered 1,220 lactations of 270 d each in 570 *Bos taurus* (BT) X *Bos indicus* (BI) cows recorded from January 1999 to December 2004. *Bos indicus* gene proportion varied from pure breeds (100%) to $\frac{1}{8}$ BI: $\frac{7}{8}$ BT; cows with proportions of $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{5}{8}$ and $\frac{3}{4}$ BT genes were treated as having 12.5, 25, 50, 62.5 and 75% BT genes, respectively. However, there were more than eight breed groups overall; for example, cows with 12.5, 75 and 87.5 % BI genes represented approximately 300 lactations per group each, while those with 25.0, 50.0 and 62.5 % had 97,100 and 83 complete lactations per group, respectively. The different genotypes were produced with different crosses: the $\frac{1}{4}$ BT: $\frac{3}{4}$ BI was produced by crossing a pure breed BT with a $\frac{1}{2}$ BT: $\frac{1}{2}$ BI; the $\frac{5}{8}$ BT: $\frac{3}{8}$ BI by crossing a pure breed BT with a $\frac{3}{4}$ BT: $\frac{1}{4}$ BI; the $\frac{1}{2}$ BT: $\frac{1}{2}$ BI by crossing two pure breeds; and the $\frac{5}{8}$ BT: $\frac{3}{8}$ BI by crossing a $\frac{1}{2}$ BT: $\frac{1}{2}$ BI with a $\frac{3}{4}$ BT: $\frac{1}{4}$ BI.

considerados como los términos relativos de 12.5, 25, 50, 62.5 y 75 % de genes BT. En general, se tuvieron más de ocho grupos raciales; por ejemplo, las vacas de 12.5, 75, y 87.5 % de genes BI representaron aproximadamente 300 lactancias para cada uno, mientras que las de 25.0, 50.0 y 62.5 % de genes BI tuvieron 97,100 y 83 lactancias completas, respectivamente. Los genotipos $\frac{1}{4}$ BT $\frac{3}{4}$ BI provienen del apareamiento de la raza pura con $\frac{1}{2}$ BT $\frac{1}{2}$ BI, mientras que $\frac{5}{8}$ BT: $\frac{3}{8}$ BI se produjeron del apareamiento de raza pura con $\frac{3}{4}$ BT $\frac{1}{4}$ BI. Así mismo, los genotipos $\frac{1}{2}$ BT $\frac{1}{2}$ BI se originaron del apareamiento de la raza pura BT y BI, mientras que los $\frac{5}{8}$ BT: $\frac{3}{8}$ BI provienen del apareamiento entre $\frac{1}{2}$ BT $\frac{1}{2}$ BI con $\frac{3}{4}$ BT $\frac{1}{4}$ BI.

La información estudiada se obtuvo de un rancho comercial de doble-propósito de Centro, Tabasco. El municipio se localiza a 18° 20" N y 93° 15" O. García⁽⁷⁾ clasificó el clima de la zona como Am(f)w'(i')g, con temperatura media anual de 33.6 °C, y precipitación promedio de 2,237 mm anuales.

La base de la alimentación fue el pastoreo rotacional de gramas tropicales con asignación diaria en franjas con cerco eléctrico. Las especies forrajeras incluyeron al *Paspalum spp* (Camalote o Remolino), *Homolepsis spp* (Grana Amarga) y *Cynodon spp* (Bermuda). Las vacas en lactancia recibieron forraje y 1.0 kg de concentrado comercial (16 % PC) durante el ordeño de la mañana y 1.0 kg durante el ordeño de la tarde.

El sistema de ordeño fue mecánico, en una sala en paralelo con 16 plazas y pesadores individuales de leche tipo Waikato[®]. Las vacas ingresaban a la línea de ordeño al segundo día después del parto. El ordeño se realizó dos veces al día (0500 y 1330), sin la presencia del becerro y con la ayuda de 0.25 ml de oxitocina (Oxipar). El criterio principal de secado es el nivel de producción, y éste se realiza cuando las vacas están produciendo entre 2 y 5 kg de leche por día.

El manejo reproductivo del hato consiste en dos empadres controlados, con el uso de inseminación artificial (57 %) y monta natural (43 %). El primer empadre se realiza en marzo y abril, y el segundo

Data were collected at a commercial, double-purpose ranch located in Centro Municipality, Tabasco state, Mexico (18° 20" N; 93° 15" W). The climate is classified as Am(f)w'(i')g, with a mean annual temperature of 33.6 °C and average annual precipitation of 2,237 mm⁽⁷⁾.

Feeding regime was based on rotational grazing of tropical grasses with daily assignment to electrically fenced areas. Forage species included *Paspalum spp.* (Dallis grass), *Homolepsis spp.* (sour grass) and *Cynodon spp.* (Bermuda grass). Lactating cows received forage plus a 1.0 kg commercial concentrate (16 % crude protein) during the morning milking and another 1.0 kg during the afternoon milking.

A mechanical milking system was used in a parallel barn with 16 stalls and individual milk balances (Waikato[®]). Cows were placed on the milking line two days after calving. Milking was done twice daily (0500 and 1330) without the calf and supported by 0.25 ml oxytocin (Oxipar). The main dry-off criterion was production level, and cows were removed from the line when milk yield dropped to 2 to 5 kg per day.

Herd reproductive management consisted of two controlled breedings with 57 % artificial insemination and 43 % natural mounting. The first breeding was done in March and April, and the second in June. Target BT gene proportion for the producer at the studied ranch is 62.5 %; based on cow BT proportion a sire is assigned with the appropriate genotype proportions.

The database was used to calculate production variables: milk yield per lactation (MYL); milk yield per day (MYD); milk yield per day of calving interval (MYDCI); peak milk yield (PMY); milk yield per day of herd life (MYDHL); days at peak milk yield (DPMY); and lactation persistency (LP).

Individual MYL was adjusted to 270 d by excluding lactations greater or lesser than 270 d from the model. This variable was estimated with the ICAR linear interpolation method⁽⁸⁾:

$$MYL = I_0 * M_1 + I_1 * \left(\frac{M_1 + M_2}{2} \right) + I_2 * \left(\frac{M_2 + M_3}{2} \right) + I_{n-1} * \left(\frac{M_{n-1} + M_n}{2} \right) + I_n * M_n$$

en junio. En el rancho en estudio, el productor desea tener vacas con aproximadamente el 62.5 % de genes BT; con base en la proporción de genes BT de la vaca, se le asigna un semental que reúna dicha proporción.

Con la base de datos se generaron las variables producción total de leche (PTL), producción de leche por día (PLD), producción de leche por día de intervalo entre partos (PLIEP), producción de leche al pico de lactancia (PLP), producción de leche por día de vida en el hato (PLDVH), días al pico (DP), y persistencia (PE).

La PTL individual se ajustó a 270 días, removiendo del modelo aquellas lactancias inferiores o superiores a los 270 días de ordeño. La PTL se estimó utilizando el método de interpolación lineal del ICAR⁽⁸⁾:

$$PTL = I_0 * M_1 + I_1 * \left(\frac{M_1 + M_2}{2}\right) + I_2 * \left(\frac{M_2 + M_3}{2}\right) + I_{n-1} * \left(\frac{M_{n-1} + M_n}{2}\right) + I_n * M_n$$

Donde: I_0 = intervalo en días entre las fechas de parto y del primer registro de PL; M_1, M_2, \dots, M_n = la PL (kg) producida en el día de registro; I_1, I_2, \dots, I_{n-1} = los intervalos en días, entre las fechas de registro de PL; I_n = intervalo en días, entre la última fecha de registro de PL y la fecha de secado.

La PLD se calculó dividiendo la PTL entre la duración de la lactancia (DL). La PLIEP se obtuvo como el cociente entre PTL y el intervalo entre partos (IEP), mientras que el IEP se estimó como la diferencia en días entre las fechas de partos consecutivos. La PLT se estimó como la producción máxima predicha por el ICAR mientras que la PLDVH se obtuvo sumando la PTL de cada lactancia y se dividió entre los días de permanencia de la vaca en el hato; estos últimos se estimaron como los días entre las fechas de nacimiento y de secado de su última lactancia consecutiva. La DL corresponde a los días de ordeño y se generó como el intervalo entre las fechas de parto y secado de cada lactancia. Debido a que la metodología del ICAR proporciona un intervalo de días, los DP se calcularon como el promedio entre el límite inferior y superior en donde se estimó la máxima producción. La PE se calculó dividiendo la PLS

Where: I_0 = interval in days between calving and first MY record; M_1, M_2, \dots, M_n = MY (kg) produced on day recorded; I_1, I_2, \dots, I_{n-1} = intervals in days between MY recording dates; I_n = interval in days between last MY record and dry-off date.

Milk yield per day (MYD) was calculated by dividing MYL by lactation duration (LD). The MYDCI was generated as the quotient between MYL and the calving interval, which in turn was estimated as the difference in days between consecutive calving dates. Milk yield per lactation (MYL) was estimated as maximum production as predicted by the ICAR method. Milk yield per day of herd life (MYDHL) was determined by adding a cow's MYLs and dividing the result by the days of a cow's herd life; this period was estimated as the number of days between cow birthdate and dry-off of the final consecutive lactation. Lactation duration (LD) corresponded to the number of days a cow was milked and was generated as the interval between each lactation's calving and dry-off dates. Given that the ICAR methodology provides intervals in days, the PMYs were calculated as the average of the lower limit and the upper limit at which maximum production was estimated. Lactation persistency (LP) was calculated by dividing milk yield at dry-off (MYDO)(x 100) by maximum milk yield per day (MMYD).

Descriptive statistics were generated for the analyzed data, including number of lactations, means, maximums and minimums, the standard deviations and the variation coefficient (Table 1). Milk yield per lactation (MYL), MYD, MYDCI, MMYD, LD and LP were analyzed with the MIXED procedure in the SAS statistical package⁽⁹⁾. The model used the fixed effects of lactation number, calving year and season, their double interactions and the percentage of BT genes covariable. Calving number was 1, 2, 3, 4 or 5, and calving years ranged from 1999 to 2004. Milk yield per day (MYD), MYDCI and LP data for 2004 were grouped with those for 2003 due to a limited number of observations. Calving season was defined as either rainy (1; June-December) or dry (2; January-May). Response variables analysis was done with the model:

Cuadro 1. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos principales, interacciones de primer orden y covariables de las características productivas

Table 1. Significance level (probability) of principal effects, first-order interactions and productive characteristic covariables

Effect	Response variables						
	MYL	MYD	MYDCI	PMY	MYDHL	DPMY	LP
CN	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		0.1753	<.0001
CY	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001
CS	0.6482	0.2566	0.2279	0.267		0.0363	0.0003
CN*CY	—	<.0001	0.0149	0.0001		—	0.0138
CN*CS	—	0.0100	—	—		—	—
CY*CS	<.0001	0.0424	0.0452	<.0001		0.0002	<.0001
PCTGEU (Linear)	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0051	—	0.0343
PCTGEU (Quadratic)	0.0057	0.0002	0.0001	<.0001	0.0205	—	0.0195
BY					<.0001		
BS					0.5002		

MYL = milk yield per lactation (kg/cow); MYD = milk yield per day (kg/cow); MYDCI = milk yield per day of calving interval (kg/cow); PMY = peak milk yield (kg/cow); MYDHL = milk yield per day of herd life (kg/cow); DPMY = days at peak milk yield; and LP = lactation persistency (%). CN = calving number; CY = calving year; CS = calving season; PCTGEU = percentage *Bos Taurus* genes covariable; BY = birth year; and BS = birth season.

por 100 entre la PLP. En el Cuadro 1 se presentan los estadísticos descriptivos de los datos usados en el estudio, el número de lactancias, el valor de la media, máximo y mínimo, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

La PTL, PLD, PLIEP, PLP, DP y PE se analizaron utilizando el procedimiento Mixed de SAS⁽⁹⁾; el modelo incluyó los efectos fijos de número de lactancia, año y estación de parto, las interacciones dobles y la proporción de genes BT como covariable. El número de parto consistió de 1, 2, 3, 4 y 5; mientras que los años de parto fueron 1999 a 2004. En el caso de PLD, PLIEP y PE el año 2004 se agrupó con 2003 debido al número limitado de observaciones. La estación de parto se dividió en lluvias (1; junio-diciembre) y secas (2; enero-mayo).

El análisis de las variables de respuesta se realizó con el modelo siguiente:

$$Y_{ijklmn} = \mu + NP_i + AP_j + EP_k + PADRE_l + VACA(PADRE)_{lm} + b_1 (PCTGEU - \hat{\mu}_{PCTGEU}) + b_2 (PCTGEU - \hat{\mu}_{PCTGEU})^2 + e_{ijklmn}$$

$$Y_{ijklmn} = \mu + CN_i + CY_j + CS_k + SIRE_l + COW(SIRE)_{lm} + b_1 (PCTGEU - \hat{\mu}_{PCTGEU}) + b_2 (PCTGEU - \hat{\mu}_{PCTGEU})^2 + e_{ijklmn}$$

Where: Y_{ijklmn} is each of the modeled response variables (MYL, MYD, MYDCI, MMYD, MYDO, LD, DPMY and LP); μ is the overall mean; CN_i is the fixed effect of a cow's i -th calving number ($i = 1, \dots, 5$); CY_j is the fixed effect of a cow's j -th calving year ($j = 1, \dots, 6$); CS_k is the effect of a cow's k -th calving season ($k = 1, 2$); $SIRE_l$ is the random effect of the l -th sire ($l = 1, \dots, 101$) $\sim NI(0, \sigma_r^2)$; $COW(SIRE)_{lm}$ is the random effect of the m -th cow nested in the l -th sire $\sim NI(0, \sigma_{v(p)}^2)$; PCTGEU is the percentage of BT genes covariable; b_1 and b_2 are linear and quadratic regression coefficients associated with PCTGEU; $\hat{\mu}_{PCTGEU}$ is the estimated mean of the PCTGEU covariable; and e_{ijklmn} is the random error $\sim NI(0, \sigma_e^2)$.

The not significant ($P > 0.05$) first-order interactions for each variable were removed from the final model. For the principal effects and the significant interactions, the least squares means were calculated

Donde: Y_{ijklmn} es cada una de las variables de respuesta modeladas (PTL, PLD, PLIEP, PLP, PLS, DL, DP y PE); μ es la media general; NP_i es el efecto fijo del i -ésimo número de parto de la vaca ($i = 1, \dots, 5$); AP_j es el efecto fijo del j -ésimo año de parto de la vaca ($j = 1, \dots, 6$); PCTGEU es el porcentaje de genes de razas BT como covariable; b_1 y b_2 son los coeficientes de regresión lineal y cuadrático asociados con el porcentaje de genes de razas BT; $\hat{\mu}_{PCTGEU}$ es la media estimada de la covariable porcentaje de genes de razas BT, y e_{ijklmn} es el error aleatorio $\sim NI(0, \sigma_e^2)$; EP_k es el efecto fijo de la k -ésima estación de parto de la vaca ($k = 1, 2$), $PADRE_l$ es el efecto aleatorio del l -ésimo padre ($l = 1, \dots, 101$) $\sim NI(0, \sigma_p^2)$, $VACA(PADRE)_{lm}$ es el efecto aleatorio de la m -ésima vaca anidada en el l -ésimo semental $\sim NI(0, \sigma_{v(p)}^2)$,

Para cada variable las interacciones de primer orden que fueron no significativas ($P > 0.05$) se removieron del modelo final. Para los efectos principales y las interacciones significativas, las medias de cuadrados mínimos se obtuvieron con el enunciado LSMEANS⁽⁹⁾ y se compararon utilizando la prueba de Tukey. La covariable PCTGEU se obtuvo con los estimadores insesgados de los coeficientes de regresión respectivos. Las soluciones de los efectos fijos de los análisis de varianza se utilizaron para obtener los intercepto de las ecuaciones de regresión para graficar las covariables significativas.

La PLDVH se analizó con un modelo que incluyó los efectos fijos de año y estación de nacimiento, y sus interacciones dobles. El año de nacimiento incluyó información de 1996 a 2001, mientras que la estación de nacimiento se dividió en lluvias (1; junio-septiembre) y secas (2; enero-mayo); y se analizó con MIXED de SAS⁽⁹⁾, con el modelo siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + AN_i + EN_j + PADRE_k + b_1 (PCTGEU - \hat{\mu}_{PCTGEU}) + b_2 (PCTGEU - \hat{\mu}_{PCTGEU})^2 + e_{ijk}$$

Donde: Y_{ijk} es la observación de la variable de respuesta (PLDVH); μ es la media general; AN_i es

with the LSMEANS statement⁽⁹⁾ and compared with a Tukey test. The PCTGEU covariable was produced using the unbiased estimators of the respective regression coefficients. The solutions for the fixed effects in the variance analyses were used to obtain the regression equations needed to graph the significant covariables.

Milk yield per day of herd life (MYDHL) was analyzed with a model including the fixed effects of birth year and season, and their double interactions. Birth year included data from 1996 to 2001, and birth season was divided into rainy (1; June-December) and dry (2; January-May). The analysis was done with the MIXED function in the SAS statistics package⁽⁹⁾ using the model:

$$Y_{ijk} = m + BY_i + BS_j + SIRE_k + b_1 (PCTGEU - \hat{\mu}_{PCTGEU}) + b_2 (PCTGEU - \hat{\mu}_{PCTGEU})^2 + e_{ijk}$$

Where: Y_{ijk} is the response variable (MYDHL); μ is the overall mean; BY_i is the fixed effect of the cow's i -th birth year ($i = 1, \dots, 6$); BS_j is the fixed effect of the cow's j -th birth season ($j = 1, 2$); $SIRE_k$ is the random effect of the k -th sire ($k = 1, \dots, 57$) $\sim NI(0, \sigma_p^2)$; PCTGEU is the percentage of BT genes covariable; b_1 and b_2 are linear and quadratic regression coefficients associated with PCTGEU; $\hat{\mu}_{PCTGEU}$ is the estimated mean of the PCTGEU covariable; and e_{ijklmn} is the random error $\sim NI(0, \sigma_e^2)$.

The non significant ($P > 0.05$) first-order interactions for each variable were removed from the final model. For the principal effects and the significant interactions, the least squares means were calculated with the LSMEANS statement⁽⁹⁾ and compared with a Tukey test. The PCTGEU covariable was produced using the unbiased estimators of the respective regression coefficients. The solutions for the fixed effects in the variance analyses were used to obtain the regression equations needed to graph the effect of PCTGEU in MYDHL.

The results are reported based on the above models. However, the effect of heterosis in cows was added as a covariable to the final models to explain the possible causes of differences between genotypes.

el efecto fijo del i -ésimo año de nacimiento de la vaca ($i = 1, \dots, 6$); EN_j es el efecto fijo de la j -ésima estación de nacimiento de la vaca ($j = 1, 2$); $PADRE_k$ es el efecto aleatorio del k -ésimo padre ($k = 1, \dots, 57$) $\sim NI(0, \sigma_p^2)$; PCTGEU es el porcentaje de genes de razas BT como covariable; b_1 y b_2 son los coeficientes de regresión lineal y cuadrática asociados con el porcentaje de genes de razas BT, μ_{PCTGEU} es la media estimada de la covariable porcentaje de genes de razas BT, y e_{ijkl} es el error aleatorio $\sim NI(0, \sigma_e^2)$.

Las interacciones de primer orden y covariables no significativas de PLDVH se removieron del modelo final. Por el contrario, los efectos principales y las interacciones significativas se analizaron con LSMEANS⁽⁹⁾ y se compararon utilizando la prueba de Tukey. Para la covariable PCTGEU se obtuvieron los estimadores insesgados de los coeficientes de regresión respectivos. Las soluciones de los efectos fijos del análisis de varianza se utilizaron para obtener el intercepto de las ecuaciones de regresión para graficar el efecto de PCTGEU en la PLDVH.

Los resultados se reportan con base en los modelos antes descritos; sin embargo, con el propósito de explicar las posibles causas de las diferencias entre genotipos, el efecto de la heterosis en las vacas se adicionó como covariable a los modelos finales.

Efectos ambientales

El nivel de significancia de los efectos principales, las interacciones de primer orden y las covariables de las características productivas se presentan en el Cuadro 1; mientras que las medias de cuadrados mínimos de PTL, PLD, PLIEP, PLP, DP y PE se presentan en el Cuadro 2. El número de parto influyó positivamente ($P < 0.05$) la PTL, PLD, PLIEP, PLP y PE y no tuvo ningún efecto en DP. Las vacas de primer parto tuvieron valores inferiores de PLT, PLD, PLIEP, PLP y PE comparada con las de segundo parto; éstas a su vez fueron inferiores a las de tercer parto, y no fueron diferentes a las cuarto y quinto parto. La diferencia en el volumen de leche se explica por el crecimiento y desarrollo corporal mayor de las vacas adultas con respecto

Environmental effects

Calving number (CN) had a positive ($P < 0.05$) effect on MYL, MYD, MYDCI, PMY and LP, but no effect on DPMY (Table 2). At first-calving cows had lower MYL, MYD, MYDCI, PMY and LP values than second-calving cows, which were lower in turn than third-calving cows. No difference was observed between third-, fourth- and fifth-calving cows. The differences recorded in milk volume can be attributed to the greater growth and physical development of adult cows *versus* young cows, which coincides with previous reports from tropical climes^(6,10-13).

Climate conditions can influence milk yield in different ways; be it directly by altering animal metabolism due to high temperatures, or indirectly by effecting forage production seasonality^(14,15). Calving year (CY) had an influence ($P < 0.05$) on MYL, MYD, MYDCI, PMY and LP in the present study (Table 2). Increases in milk yield tended to be linear from the first to the fifth calving, with the highest values nearest the fifth calving. Overall, 1999 had the lowest values for the studied variables, indicating that prevailing environmental conditions during this year differed from other years. Calving year (CY) as a source of variation is difficult to explain since it encompasses management and environmental factors, as well as their interactions, and its effect is random and largely unpredictable. The present results are comparable to those reported in studies done in tropical environments^(6,11,13).

Calving season (CS) represents a conjunction of different climatic and animal management factors. Annual seasons are the sum of meteorological events expressed at defined times during the year, and the conjunction of elements that define a given physical environment in one season or another can generate special conditions, depending on the dominance of one or another variable. Calving season (CS) had no effect ($P > 0.05$) on most of the studied variables, save for DPMY and LP. During the rainy season, DPMYs were thirteen days shorter ($P < 0.05$) than during the dry season, whereas LP was higher ($P < 0.05$) during the rainy season than during the dry season (45 vs. 40 %). This contrasts with

Cuadro 2. Medias de cuadrados mínimos (\pm error estándar) para las variables estudiadasTable 2. Least mean squares (\pm standard error) for studied variables by calving effects

	Response variables					
	MYL	MYD	MYDCI	PMY	DPMY	LP
Calving number:						
1	2024 \pm 107 ^a	7.3 \pm 0.17 ^a	4.9 \pm 0.25 ^a	10.9 \pm 0.28 ^a	36 \pm 4 ^a	50 \pm 1 ^b
2	2293 \pm 106 ^b	8.5 \pm 0.17 ^b	6.0 \pm 0.25 ^b	12.7 \pm 0.27 ^b	31 \pm 4 ^a	43 \pm 1 ^a
3	2426 \pm 106 ^{bc}	9.2 \pm 0.20 ^c	6.5 \pm 0.27 ^{bc}	13.6 \pm 0.27 ^c	29 \pm 4 ^a	40 \pm 1 ^a
4	2545 \pm 113 ^c	9.8 \pm 0.21 ^c	6.8 \pm 0.31 ^c	14.0 \pm 0.30 ^{cd}	29 \pm 4 ^a	39 \pm 1 ^a
5	2610 \pm 110 ^c	9.8 \pm 0.17 ^c	7.1 \pm 0.26 ^c	14.3 \pm 0.28 ^d	31 \pm 4 ^a	39 \pm 1 ^a
Calving year:						
1999	1514 \pm 86 ^a	6.4 \pm 0.15 ^a	3.9 \pm 0.19 ^a	10.8 \pm 0.24 ^a	15 \pm 3 ^a	30 \pm 1 ^a
2004	1775 \pm 410 ^{ab}			13.8 \pm 0.97 ^c	21 \pm 17 ^{ab}	1 \pm 17 ^{ab}
2003	2558 \pm 85 ^b	9.6 \pm 0.18 ^c	8.1 \pm 0.86 ^c	13.7 \pm 0.23 ^c	38 \pm 3 ^b	46 \pm 1 ^b
2002	2762 \pm 148 ^{bc}	9.9 \pm 0.28 ^{cd}	6.4 \pm 0.29 ^{bc}	14.3 \pm 0.36 ^c	25 \pm 6 ^{ab}	40 \pm 2 ^b
2000	2825 \pm 88 ^{bc}	8.4 \pm 0.16 ^b	5.9 \pm 0.19 ^b	11.6 \pm 0.24 ^b	58 \pm 3 ^c	47 \pm 1 ^b
2001	2844 \pm 92 ^c	10.3 \pm 0.17 ^d	7.0 \pm 0.27 ^c	14.2 \pm 0.25 ^c	31 \pm 3 ^b	47 \pm 1 ^b
Calving season:						
Rainy	2345 \pm 157 ^a	9.0 \pm 0.17 ^a	6.5 \pm 0.39 ^a	12.9 \pm 0.38 ^a	25 \pm 6 ^a	45 \pm 1 ^b
Dry	2414 \pm 63 ^a	8.8 \pm 0.11 ^a	6.1 \pm 0.13 ^a	13.3 \pm 0.18 ^a	38 \pm 1 ^b	40 \pm 1 ^a

MYL = milk yield per lactation(kg/cow); MYD = milk yield per day (kg/cow); MYDCI = milk yield per day of calving interval (kg/cow); PMY = peak milk yield (kg/cow); DPMY = days at peak milk yield; and LP = lactation persistency (%).

abcd Means with different letter superscripts within the same column and effect are statistically different ($P < 0.05$; Tukey).

a las jóvenes. Los resultados del presente estudio son similares a los publicados en varios ambientes tropicales^(6,10-13).

Las condiciones climáticas influyen en la cantidad de leche obtenida de diferentes formas; una forma directa es alterando el metabolismo del animal por las temperaturas altas, e indirectamente determinando la estacionalidad de la producción forrajera^(14,15). En el presente estudio, el año de parto influyó ($P < 0.05$) en PTL, PLD, PLIEP, PLP y PE (Cuadro 2). El incremento en PL mostró una tendencia lineal del primero al quinto, logrando los valores más altos conforme de acercaban al quinto parto. En general, los resultados muestran que 1999 presentó los valores más bajos en todas las variables estudiadas, lo cual indica que las condiciones ambientales predominantes durante ese año fueron diferentes a otros años. El año de parto

Hernández-Reyes *et al.*⁽¹²⁾, who found no effect of CS on milk yield under tropical conditions, but agrees with other studies done in tropical regions^(6,10,13).

Lactation persistency (LP) is linked to the milk production curve and is estimated as the percentage of MY that can be or is maintained after the production peak. No other studies were found in the literature which include reports of LP calculated as done in the present study: $MY \times \text{dry-off} \div (x \ 100) \div PMY$. The present results can be explained biologically based on peak and dry-off production levels. For example, cows with 0 % BT exhibited higher LP values than those with 50 % BT, but those with 0 % BT had lower PMY and MYDO. This formula is a quotient and therefore as PMY and MYDO become closer in value, MY will tend to be higher.

es una fuente de variación difícil de explicar, debido a que comprende factores de manejo, ambientales y sus interacciones, además, su efecto es de naturaleza aleatoria y poco predecible. Los resultados obtenidos en el presente estudio son comparables a lo publicado por otros autores en otros ambientes tropicales^(6,11,13).

La estación de parto representa la conjunción de varios factores climáticos y de manejo de los animales. Las estaciones del año representan la suma de eventos meteorológicos que se expresan en tiempos definidos durante el año. La conjunción de elementos que definen el ambiente físico de una temporada a otra, puede tener una connotación especial, dependiendo de la dominancia de una u otra variable. En el presente estudio, la estación de parto no influyó ($P > 0.05$) en la mayoría de las variables estudiadas, excepto en DP y PE. Los DP en la época de lluvias fueron 13 días menores ($P < 0.05$) que en secas, mientras la PE fue mayor ($P < 0.05$) durante las lluvias que durante la época de secas (45 vs 40 %). Al respecto, Hernández-Reyes et al.⁽¹²⁾ no encontraron efectos ($P > 0.05$) de la estación de parto en la PL de vacas en condiciones

Effect of Bos taurus gene proportion

The linear and quadratic effects of PCTGEU on MYL show that cows with 78 % BT exhibited higher MYL (2,898 kg) compared to those with 0, 25, 50, 62.5 and 75 % BT genes. The 78 % BT cows had 183.8, 42.7, 9.1, 2.6 and 0.1 % more production than cows with 0, 25, 50, 62.5 and 75 % BT genes, respectively (Figure 1). This is similar to the trend for MYD, which increased as BT gene percentage increased, with a maximum (9.8 kg) in 70.3 % BT cows (Figure 2). This maximum was 47.9, 15.6, 2.8, 0.5 and 0.2 % higher than in cows with 0, 25, 50, 62.5 and 75 % BT genes, respectively. These inter-genotype differences for MYL and MYD can be attributed to the complementary effects of genes inherited from the parent breeds. In this case, the BT parents transmit the ability to better metabolize nutrients whereas the BI parents transmit information that aids in adaptation to tropical environments⁽¹⁶⁾.

The present MYL and MYD results are comparable to those reported for tropical zones⁽¹⁷⁻²¹⁾, suggesting that the optimum genotype proportion for MY in conditions similar to those in the present

Figura 1. Efecto del porcentaje de genes *B. taurus* en la producción total de leche de vacas cruzadas *B. taurus* X *B. indicus* desde 100% puras hasta 7/8BT:1/8BI en el trópico húmedo de Centro, Tabasco

Figure 1. Effect of percentage of *B. taurus* genes on milk yield per lactation (MYL) in *B. taurus* X *B. indicus* cows ranging from 100% pure breeds to 7/8BT:1/8BI in the humid tropics (Tabasco State, Mexico)

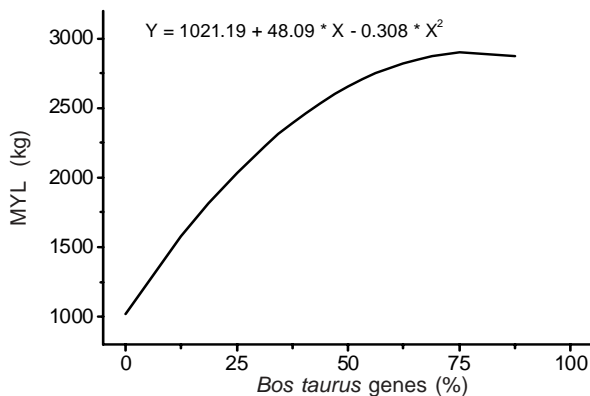
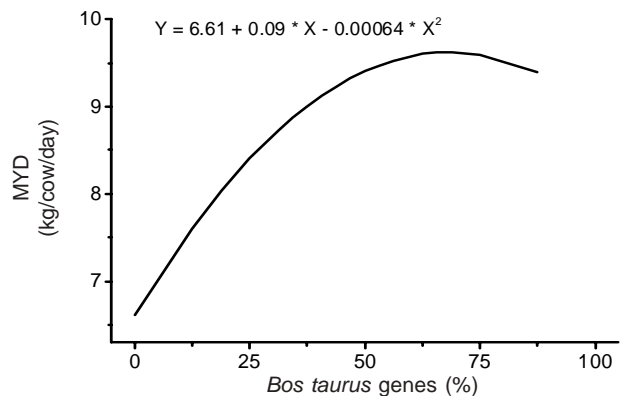


Figura 2. Efecto del porcentaje de genes *B. taurus* en la producción diaria de leche de vacas cruzadas *B. taurus* X *B. indicus* desde 100% puras hasta 7/8BT:1/8BI en el trópico húmedo de Centro, Tabasco

Figure 2. Effect of percentage of *B. taurus* genes on milk yield per day (MYD) in *B. taurus* X *B. indicus* cows ranging from 100% pure breeds to 7/8BT:1/8BI in the humid tropics (Tabasco State, Mexico)



tropicales; sin embargo, otros estudios realizados en trópico demostraron lo contrario^(6,10,13).

La PE es una característica asociada a la curva de producción de leche y se estima como el porcentaje de PL que es posible mantener o que se mantiene después de la producción máxima. En el presente estudio, la PE se calculó multiplicando la PL al secado por 100 y dividiéndola entre la PLP. Desafortunadamente no se encontraron estudios que reporten la PE como se estimó en el presente estudio. Sin embargo, los resultados pueden explicarse biológicamente por los niveles de producción al pico y al secado. Por ejemplo, las vacas con 0 % mostraron valores mayores de PE que las de 50 % de genes BT. Paralelamente, las vacas con 0 % tuvieron PLP y PL al secado menores. Debido a que la fórmula es un cociente, a medida que PLP y PL al secado sean parecidos, la persistencia tenderá a ser mayor.

Efectos del porcentaje de genes *Bos taurus*

La Figura 1 muestra el efecto lineal y cuadrático de PCTGEU en la PTL. Como se observa en la misma figura, las vacas con 78.0 % de genes BT tuvieron PL más altas (2,898 kg) comparado con 0, 25, 50, 62.5 y 75 %; dicha producción fue 183.8, 42.7, 9.1, 2.6 y 0.1 % más alta para los animales con 0, 25, 50, 62.5 y 75 %, respectivamente; un comportamiento similar se observa en la Figura 2, donde la PLD se incrementó a medida que el porcentaje de genes BT aumentó; dicho aumento alcanzó un valor máximo con 70.3 % de genes BT. Las vacas con 70.3 % tuvieron los rendimientos más altos (9.8 kg) comparados con las de 0, 25, 50, 62.5 y 75 %. La diferencia en PLD fue 47.9, 15.6, 2.8, 0.5 y 0.2 %, menor para 0, 25, 50, 62.5 y 75 % de genes BT, respectivamente. Las diferencias entre genotipos para PTL y PLD se atribuyen a efectos complementarios de los genes heredados de las razas parentales. Los animales BT transmiten a la progenie cruzada la habilidad para mejorar el metabolismo de los nutrientes, mientras que los BI transmiten información de adaptación al ambiente tropical⁽¹⁶⁾.

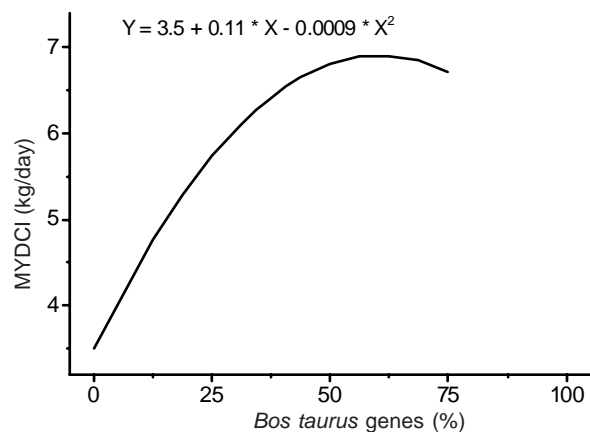
Los resultados obtenidos para PTL y PLD son similares a los publicados en otros estudios en

study includes BT gene percentages greater than 50 %. In a review of research in tropical conditions, Rege⁽²¹⁾ estimated that compared to BI genotypes, MY was 64.8 % higher at a 75 % BT percentage and 69.7 % higher at an 87.5 % BT percentage. Clearly, including BT genes in breeding programs under tropical conditions can potentially increase MY.

The linear and quadratic effects of PCTGEU on MYDCI showed that MYDCI increased as BT gene percentage increased (Figure 3). Maximum MYDCI (6.8 kg) was reached in 61.0 % BT cows, which is 96.0, 20.4, 1.6, 0.03 and 2.5 % higher than in cows with 0, 25, 50, 62.5 and 75 % BT gene percentages, respectively. The minimal differences in MYDCI between 61 % cows and others within the 50 to 75 % range suggest that inclusion of the CI reproductive variable in the MY variable caused the optimum percentage of genes to decrease in relation to MY. It also implies that reproductive variables have a lower optimum BT gene percentage than MY variables. For example, no differences in MYDCI were observed in a study of F₁ cows

Figura 3. Efecto del porcentaje de genes *B. taurus* en la producción de leche por día interparto de vacas cruzadas *B. taurus* X *B. indicus* desde 100% puras hasta 7/8BT:1/8BI en el trópico húmedo de Centro, Tabasco

Figure 3. Effect of percentage of *B. taurus* genes on milk yield per day of calving interval (MYDCI) in *B. taurus* X *B. indicus* cows ranging from 100% pure breeds to 7/8BT:1/8BI in the humid tropics (Tabasco State, Mexico)



zonas tropicales⁽¹⁷⁻²¹⁾. Lo anterior sugiere que los mejores genotipos para PL probablemente se encuentren con porcentajes de genes BT mayores a 50 % para las condiciones tropicales similares a las del presente estudio. Rege⁽²¹⁾ en una revisión de varios estudios en condiciones tropicales, estimó que la PTL fue superior en 64.8 y 69.7 % para genotipos con porcentajes de genes BT de 75 y 87.5 %, con respecto a genotipos BI. Lo anterior muestra el potencial que tiene el incluir genes de BT en los genotipos para PL en condiciones tropicales.

En la Figura 3 se muestra el efecto lineal y cuadrático de PCTGEU en PLIEP. Como puede observarse, la PLIEP incrementó conforme el porcentaje de genes BT aumentó. El valor máximo fue de 6.8 kg y se obtuvo con vacas 61.0 % de genes BT; dicho valor fue mayor en 96.0, 20.4, 1.6, 0.03 y 2.5 % para 0, 25, 50, 62.5 y 75 % de genes BT, respectivamente; el hecho de que la PLIEP fuera máxima cuando se tuvo un 61.0 % de genes BT y de que existieran pocas diferencias con el rango entre 50.0 y 75.0 % de genes BT, sugiere que la inclusión de la variable reproductiva IEP en la variable de PL probablemente provocó que el porcentaje de genes óptimo disminuyera con relación en PL. Además, sugiere que variables reproductivas tienen un porcentaje óptimo de genes BT menor que las relacionadas con PL. Por ejemplo, Vite *et al*⁽¹³⁾ no observaron diferencias en la PLIEP de vacas F₁ (Holstein-Cebú y Suizo-Cebú) comparadas con las de 75 % Suizo 25 % Cebú. Por otro lado, en las condiciones tropicales de Venezuela, López y Vaccaro⁽⁶⁾ observaron que los bovinos mestizos con 50 y 62.5 % de genes BT y el resto de BI no fueron diferentes en la PLIEP.

En la Figura 4 se puede observar el efecto lineal y cuadrático de PCTGEU en PLDVH. Las vacas con 49.9 % de genes BT presentaron un comportamiento superior de PLDVH; el valor máximo fue 2.3 kg; y fue 119.0, 15.4, 3.6 y 15.7 % mayor que para las vacas con 0, 25, 62.5 y 75 % de genes BT, respectivamente. La producción de leche por día de vida en el hato tuvo un comportamiento similar a PLIEP, aunque el óptimo de genes BT fue menor (49.9 %), esto sugiere que para

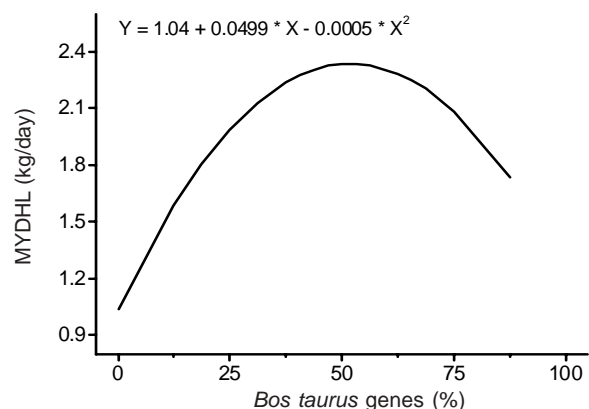
(Holstein-Zebu and Swiss-Zebu) compared to 75 % Swiss/25 % Zebu cows⁽¹³⁾, or between cows with 50 % and 62.5 % BT genes (the remaining percentage being BI genes)⁽⁶⁾.

The linear and quadratic effects of PCTGEU on MYDHL showed cows with 49.9 % BT genes to have the best MYDHL performance (Figure 4). The maximum value (2.3 kg) was 119.0, 15.4, 3.6 and 15.7 % higher than in cows with 0, 25, 62.5 and 75 % BT gene percentages, respectively. In the present study, MYDHL behaved similarly to MYDCI, although the optimum level of 49.9 % BT genes suggests that in long-term crossing systems under these conditions the best option is probably a BT gene percentage lower than the optimum BT gene percentage for MY. This coincides with Teodoro and Madalena⁽²²⁾, who reported higher MYDHL in 75 % BT cows (7.51 ± 0.35 kg) than in 81.3 % (6.46 ± 0.22 kg) or 87.5 % BT cows (6.18 ± 0.25 kg).

Milk yield per day of herd life (MYDHL) is an economic indicator that includes farm maintenance costs, handling and financial returns, as well as

Figura 4. Efecto del porcentaje de genes *B. taurus* en la producción de leche por día de vida en el hato de vacas cruzadas *B. taurus* X *B. indicus* desde 100% puras hasta 7/8BT:1/8BI en el trópico húmedo de Centro, Tabasco

Figure 4. Effect of percentage of *B. taurus* genes on milk yield per day of herd life (MYDHL) in *B. taurus* X *B. indicus* cows ranging from 100% pure breeds to 7/8BT:1/8BI in the humid tropics (Tabasco State, Mexico)



implementar un sistema de cruzamientos a largo plazo, probablemente la mejor alternativa se encuentre con una proporción de genes BT menor comparado con PL. Al respecto, Teodoro y Madalena⁽²²⁾ observaron producciones de leche por día de vida en el hato de 7.51 ± 0.35 kg para las vacas con 75 % de genes BT, dicho valor fue superior a los de 6.46 ± 0.22 kg y 6.18 ± 0.25 kg obtenidos con las vacas de 81.3 y 87.5 % de genes BT, respectivamente.

La PLDVH es un indicador económico que incluye costos de mantenimiento, el manejo y los retornos económicos de la explotación. En un estudio comparativo, Magaña y Segura-Correa⁽²³⁾ estudiaron los efectos de raza y heterosis en BT y BI (Brahman, Indobrasil, Suizo Pardo y sus cruza), y observaron que las vacas F₁ permanecieron más tiempo en el hato comparados con otros grupos genéticos. La diferencia entre los animales cruzados con respecto a las razas puras se atribuyó a un efecto de heterosis. En general, en las condiciones tropicales, pocos estudios han considerado la importancia de esta variable compuesta, que combina sobrevivencia, PL y reproducción. La importancia de que las vacas perduren más tiempo en el hato puede significar, no sólo un volumen superior de leche, sino también más pariciones y más kilogramos de terneros destetados.

En general, en el presente estudio los genotipos con 50 y 80 % de genes BT mostraron las mejores respuestas en producción de leche. Al analizar las variables de respuesta incluyendo el efecto de heterosis en las vacas, en todas las variables el efecto de PCTGEU, tanto lineal como cuadrático, fueron no importantes ($P > 0.05$), lo que sugiere que heterosis es la principal causa de las diferencias entre genotipos. Lo anterior es importante en el diseño del sistema de cruzamiento que se pretenda utilizar.

Los estudios realizados por varios investigadores^(24,25,26), sugieren que el genotipo de la vaca influye positivamente en la PL. En el presente estudio, la PL incrementó conforme aumentó la proporción de genes superiores a los de la F₁ (*Bos indicus* x *Bos taurus*), y fueron consistentes con

survival, MY and reproduction. This variable is vital because the longer a cow remains in a herd the greater her overall milk production, but she also has more calvings and therefore produces more kilograms of weaned calves. For instance, in a comparative study of the effects of breed (Brahman, Indo-Brazil, Swiss Brown and crosses) and heterosis on MYDHL, Magaña and Segura-Correa⁽²³⁾ reported that F₁ cows stayed in the herd for longer periods than other genetic groups; they attribute the differences between the crosses and pure breeds to heterosis. Very little research has been done using this compound variable under tropical conditions.

In the present study, the 50 and 80 % BT gene genotypes exhibited the overall best MY responses. When the effect of heterosis was included in analysis of the variables, the linear and quadratic effects of PCTGEU had no significant effect ($P > 0.05$). This suggests that heterosis is the main cause of the differences between genotypes, which is important to consider when designing a crossing system.

Cow genotype influences milk yield^(24,25,26), and the present results demonstrated that MY increased as the BT gene percentage surpassed the F₁ level (*Bos indicus* x *Bos taurus*), which agrees with other studies^(21,27). Yield continued to increase at percentages greater than 50 % BT and up to 80 % BT, after which it decreased slightly. According to McDowell⁽²⁸⁾, differences in MY between BT x BI crosses and pure bred Holstein should be small to moderate, and that, if available energy is higher, pure bred Holsteins should have higher MY than crosses. Under this assumption, MY can be improved by inclusion of genotypes with greater BT gene influence and by improving the environment. Defining the most appropriate genotypes for a given producer requires analysis of BT and BI gene combinations together with the environment and farm production capacity, among other factors. In the present study, the limited amount of data on BT (mainly Holstein) and BI (mainly Gyr) genotypes prevented quantification of effects by breed, which is why they were grouped only as BT or BI. Future research needs to evaluate the specific effects of different breeds' genes.

los observados en algunos estudios previos^(21,27). Sin embargo, la inclusión de genes por arriba del 50 % de Cebú reveló que el comportamiento productivo sigue incrementándose hasta aproximadamente 80 % de genes BT, y que los porcentajes mayores a ese nivel mostraron una ligera disminución en PL. McDowell⁽²⁸⁾ indicó que las diferencias en PL entre las cruzas de bovinos BT x BI y Holstein puro deberían ser pequeñas o moderadas, y que los animales puros de la raza Holstein deberían ser superiores a las cruzas, si la disponibilidad de energía fuera más alta, lo que redundaría en un comportamiento en PL superior. Por lo anterior, las diferencias en PL pueden mejorarse con la inclusión de genotipos con mayor influencia de genes BT y con el mejoramiento del ambiente. Las combinaciones de genes BT y BI, en conjunto con el ambiente y la capacidad productiva del rancho serán algunos factores que ayuden a definir los genotipos más convenientes para el productor. Finalmente, debido a la cantidad reducida de datos disponibles en este estudio para los diferentes genotipos BT (principalmente Holstein) y BI (principalmente Gyr), no fue posible cuantificar los efectos para cada raza, y fueron agrupados sólo como BT o BI, por lo que se requiere evaluar en el futuro los efectos específicos de los genes de las diferentes razas.

Se concluye que los genotipos cruzados con genes *Bos taurus* de 50 hasta 80 % demostraron una respuesta positiva en las variables asociadas exclusivamente con producción de leche. La asociación de producción de leche con eventos reproductivos y manejo general fue superior en los genotipos de 50 y 60 % de genes *Bos taurus*.

LITERATURA CITADA

1. Koppel RET, Ortiz GA, Ávila DAA, Lagunas LJ, Castañeda OG, López GI, *et al.* Manejo de ganado bovino de doble propósito en el trópico. INIFAP.CIRGOC. Libro Técnico Núm. 5. Veracruz, México. 1999.
2. Osorio-Arce M, Segura-Correa J. Reproductive performance of dual-purpose cows in Yucatán, México. *Livest Res Rural Develop* 2002;14:1-9 [en línea]. <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/3/Osor143.htm>. Consultada el 7 de octubre de 2005.
3. Juárez LFI, Fox DG, Blake RW, Pell AN. Evaluation of tropical

Based only on milk yield variables the 50 % to 80 % *Bos taurus* crosses exhibited overall positive responses, while response was better in the 50 % and 60 % *Bos taurus* crosses when milk yield was associated with reproductive events and general handling.

End of english version

-
-
- grasses for milk production by dual-purpose cows in tropical México. *J Dairy Sci* 1999;82:2136-2145.
 4. Carvajal-Hernández M, Valencia-Heredia ER, Segura-Correa JC. Duración de la lactancia y producción de leche de vacas Holstein en el Estado de Yucatán, México. *Rev Biomed* 2002;13:25-31.
 5. Lopez R, Thomas MG, Hallford DM, Kiesler DH, Silver GA, Obeidat BS, Garcia MD, Krehbiel CR. Case study: Metabolic hormone profiles and evaluation of associations of metabolic hormones with body fat and reproductive characteristics of Angus, Brangus, and Brahman heifers. *Prof Anim Sci* 2006;22:273-282.
 6. López JL, Vaccaro L. Comportamiento productivo de cruces Holstein Friesian-Cebú comparados con pardo Suizo-Cebú en sistemas de doble propósito en tres zonas de Venezuela. *Zootecnia Tropical* 2002;20(3):397-414.
 7. García E. Modificaciones a la clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, México, DF. Universidad Nacional Autónoma de México. 1988.
 8. ICAR. Recording guidelines: Appendices to the International Agreement of recording practices. International Committee for Animal Recording. Rome Italy: 1995.
 9. SAS®. SAS User's Guide: Statistics (version 8th ed.). Cary NC, USA. SAS Institute Inc. 2002.
 10. Enríquez JM, De la Rosa CAH, Núñez DR. Producción de leche y carne por cruces Cebú-Holstein en trópico húmedo. *Revista Chapingo* 1989;(65-66):34-37.
 11. Rivera MD, Núñez R, Fernández S. Comportamiento reproductivo y productivo de vacas Holstein-Cebú y Suizo Pardo-Cebú en un hato de doble propósito. *Revista Chapingo* 1989;(65-66):31-33.
 12. Hernández-Reyes E, Segura-Correa VM, Segura-Correa JC, Osorio-Arce MM. Intervalo entre partos, duración de la lactancia y PL en un hato de doble propósito en Yucatán, México. *Agrociencia* 2001;35:699-705.
 13. Vite-Cristóbal C, López-Ordaz R, García-Muñiz JG, Ramírez-Valverde R, Ruiz-Flores A, López-Ordaz R. Producción de leche y comportamiento reproductivo de vacas doble propósito que consumen forrajes tropicales y concentrados. *Vet Méx* 2007;38:63-79.
 14. Collier RJ, Beede DK., Thatcher WW, Wilcox CJ. Influence of environment and its modification on dairy animals health and production [abstract]. *J Dairy Sci* 1982;65:2213.
 15. Jonsson NN, Fulkerson WJ, Pepper PM, McGowan MR. Effect of genetic merit and concentrate feeding on reproduction of grazing dairy cows in a subtropical environment. *J Dairy Sci* 1999;82:2756-2765.

16. Madalena FE. La utilización sostenible de las hembras F1 en la producción del Ganado lechero tropical. Estudio:FAO Producción y Sanidad Animal No. 111. Rome, Italy. 1993.
17. Cunningham EP, Syrstad O. Crossbreeding *Bos indicus* and *Bos taurus* for milk production in the tropics. FAO Animal Production and Health Paper No. 68. Italy (Rome): FAO Press Inc., 1989.
18. Syrstad O. Dairy cattle crossbreeding in the tropics: the importance of genotype x environmental interactions. *Livest Prod Sci* 1990;24:109-118.
19. Thorpe W, Kangethe P, Rege J EO, Mosi RO, Mwandotto BAJ, Njuguna P. Crossbreeding Ayrshire, Friesian, and Sahiwal cattle for milk yield and preweaning traits of progeny in the semiarid tropics of Kenya. *J Dairy Sci* 1993;76:2001-2012.
20. Syrstad O. Dairy cattle crossbreeding in the tropics: choice of crossbreeding strategy. *Trop Anim Health Prod* 1996;28(3):223-229.
21. Rege OJE. Utilization of exotic germplasm for milk production in the tropics. Proceed 6th World Congress on Genetics Applied to Livest Prod. Armidale, Australia. 1998;25:193-201.
22. Teodoro RL, Madalena FE. Evaluation of crosses of Holstein, Jersey or Brown Swiss sires x Holstein-Friesian/Gir dams. 3. Lifetime performance and economic evaluation. *Genetics and Molecular Research* 2005;4(1):84-93.
23. Magaña JC, Segura-Correa JC. Estimates of breed and heterosis effects for some reproductive traits of Brown Swiss and Zebu-related breeds in South-eastern Mexico. *Livest Res for Rural Develop* 2001;13:(5) [en línea]. <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd13/5/maga135.htm>. Consultada el 7 de octubre de 2005.
24. Villegas-Carrasco MC, Román-Ponce H. Producción de leche durante el proceso de formación de un rancho de doble propósito en el trópico. *Téc Pecu Méx* 1986;51:51-61.
25. Hernández HVD, Ortiz OGA, Juárez LFJ, Román-Ponce H. Efecto de la ordeña dos veces al día sobre el comportamiento productivo de ganado cruzado de doble propósito en clima tropical húmedo (Am) [resumen]. Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. México, DF. 1989:91.
26. Madalena FE, Lemos AM, Teodoro RL, Barbosa RT, Monteiro JBN. Dairy production and reproduction in Holstein-Friesian and Guzerat crosses. *J Dairy Sci* 1990;73:1872-1886.
27. McDowell RE, Wilk JC, Talbott CW. Economic viability of crosses of *Bos taurus* and *Bos indicus* for dairying in warm climates. *J Dairy Sci* 1996;79:1292-1303.
28. McDowell RE. Improvement of livestock in warm climates. San Francisco, CA: WH Freeman and Co.; 1972.