

Efectos de cruzamiento para producción de leche y características de crecimiento en bovinos de doble propósito en el trópico húmedo

Effects of crossbreeding on milk production and growth characteristics in dual-purpose cattle in the humid tropics

Sergio Iván Román-Ponce^{ac}, Felipe de Jesús Ruiz-López^b, Hugo H. Montaldo^c, Rita Rizzi^d, Heriberto Román-Ponce^e

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar los efectos de cruzamiento en tres subpoblaciones de ganado bovino cruzados de doble propósito en el trópico húmedo se utilizaron 5,040 lactancias y pesajes corporales al nacimiento [4,429] y pesos ajustados a 205 [3,878], 365 [3,017] y 540 [2,276] días (PN, P205, P365 y P540, respectivamente) de Cebú (CE) y sus cruza con Holstein (HS), Suizo Pardo (SP) y Simmental (SM). Los efectos aditivos directos de raza (PG), heterocigocidad (HT) y pérdidas por recombinación (RC) se estimaron mediante un análisis de regresión a través de modelos mixtos. Los efectos fijos fueron el hato y año de parto, época, número de lactancia y sexo de la cría para producción total de leche (PL), así como el hato, y año de nacimiento y época para crecimiento corporal. Los efectos aleatorios para PL fueron el efecto genético directo (animal) y el ambiente permanente. Para crecimiento corporal fueron los efectos genéticos directos y maternos, así como los efectos ambientales permanentes maternos. Se obtuvieron efecto ($P<0.10$) de PG/HS, PG/SP y HT/SM sobre PL y PG/SP, PG/SM, HT/SM y RC/HS sobre PN. PG/HS y PG/SP presentaron efecto ($P<0.10$) sobre P205, P365 y P540 y PG/SM sólo sobre P205. Para P205, P365 y P540 hubo efecto ($P<0.10$) de HT y RC en todas las cruza. Los resultados aquí presentados permitirán establecer algunas estrategias de aprovechamiento de los efectos genéticos aditivos y no aditivos presentes en las poblaciones cruzadas de bovinos de doble propósito en el trópico húmedo.

PALABRAS CLAVE: Cruzamiento, Heterocigocidad, Recombinación, Doble propósito.

ABSTRACT

Crossbreeding effects were evaluated in three dual purpose bovine sub-populations in the tropics, and 5,040 lactations, 4,429 birth weights and adjusted weights at 205 [3,878], 365 [3,017] and 540 [2,276] days (PN, P205, P365 y P540, respectively) from Zebu cattle (CE) and its crosses with Holstein (HS), Brown Swiss (SP) and Simmental (SM). Additive direct breed effects (PG), heterozygosity (HT) and recombination loss (RC) were estimated by a regression analysis within breed group with mixed models. Evaluated fixed effects were herd and year of freshening, season, lactation number and offspring gender for milk yield (PL) and herd, birth year and season for growth traits. Random effects for PL were direct (animal) and permanent environment and for growth traits were genetic direct and maternal and permanent maternal environmental effects. PG/HS, PG/SP y HT/SM had effects ($P<0.10$) on PL while PG/SP, PG/SM, HT/SM and RC/HS on PN. PG/HS y PG/SP presented effects ($P<0.10$) on P205, P365 and P540 while PG/SM only on P205. HT and RC had effects ($P<0.10$) on P205, P365 y P540 for all crosses. Results hereby presented will allow the formulation of strategies for the use of additive and non-additive genetic effects of the crossbred populations present in the Mexican humid tropical regions.

KEY WORDS: Crossbreeding, Heterozygosity, Recombination Loss, Dual purpose.

Recibido el 30 de octubre de 2012. Aceptado el 10 de enero de 2013.

^a Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Centro de Investigación Regional Pacifico Sur, INIFAP-SAGARPA, México.

^b Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal, INIFAP-SAGARPA, México. Km.1 Carr. Ajuchitlan-Colon. 76280. Ajuchitlan, Querétaro, México. Tel. +52 (419) 292-0033. ruiz.felipe@inifap.gob.mx. Correspondencia al segundo autor.

^c Departamento de Genética y Bioestadística, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.

^d Dipartimento di Scienze Veterinarie per la Salute Animale e la Sicurezza Alimentare. Università degli Studi di Milano. Milano, Italy.

^e Centro de Investigación Regional Golfo-Centro, INIFAP-SAGARPA, México.

Este trabajo es parte de la Tesis de Maestría del primer autor. Proyecto financiado por: Proyecto de Mejoramiento Genético del Ganado Bovino de Doble Propósito en el Trópico INIFAP-NESTLE. Convenio de Cooperación Científica y Tecnológica México – Italia 2003 – 2005. SRE.

INTRODUCCIÓN

El sistema de producción de bovinos de doble propósito (SDP) es el predominante en la región tropical húmeda de México. Cuenta con 2.4 millones de vacas que representan cerca del 60 % de las que se dedican a la producción de leche en esta región. Este sistema de producción aporta a nivel nacional alrededor del 19.5 % de la leche y el 40 % de la carne^(1,2). En este sistema la producción diaria de leche promedio por vaca es de 3 a 9 kg, en una lactación que dura alrededor de 120 a 180 días y con un parto cada 18 a 24 meses^(1,2).

La mayor parte de los animales en el SDP, son producto de distintos cruzamientos de razas europeas (*Bos taurus taurus*, Linnaeus, 1758) con razas cebuinas (*Bos taurus indicus*, Linnaeus, 1758), o con ganado local de origen desconocido, comúnmente llamado criollo⁽²⁾. Las bases teóricas de los sistemas de cruzamiento han sido discutidas anteriormente por diversos autores, donde han utilizado efectos genéticos aditivos y no aditivos en la modelación de las medias de las cruzas^(3,4,5). Los efectos de cruzamiento son los efectos aditivos directos de raza, heterosis y recombinación o epistasis^(4,5).

Se ha propuesto el uso de modelos de regresión múltiple para la estimación de los efectos de cruzamiento. Para esto se incluye la fracción esperada de genes de una raza (PG), donde se logra estimar el efecto aditivo directo de raza y los coeficientes de heterocigosidad (HT)^(4,5,6) y de recombinación (RC)^(7,8,9) por medio de los cuales se busca estimar la heterosis y recombinación o epistasis, respectivamente.

La estimación de los efectos de cruzamiento en poblaciones específicas permite predecir el comportamiento productivo esperado de diferentes cruzas, así como establecer esquemas de evaluación genética con la finalidad de seleccionar a los reproductores a través de su valor genético aditivo, sin los sesgos ocasionados por los efectos de heterosis y recombinación en poblaciones multiraciales^(3,9).

INTRODUCTION

The dual-purpose cattle production system (DPS) is the dominant system in the humid tropics of Mexico. Approximately 2.4 million head are raised using this system and account for 60 % of the region's milk production. The DPS provides about 19.5 % of Mexico's milk and 40 % of its beef^(1,2). Average daily milk production per cow in the DPS ranges from 3 to 9 kg, with lactations lasting from 120 to 180 d and freshenings every 18 to 24 mo^(1,2).

Most animals used in the DPS are the product of different crosses between European breeds (*Bos taurus taurus*, Linnaeus, 1758) and zebu breeds (*Bos taurus indicus*, Linnaeus, 1758), or local unregistered breeds commonly known as *criollo*⁽²⁾. The theoretical foundations of crossbreeding systems have been amply discussed, and additive and non-additive genetic effects used in modeling means for the crosses^(3,4,5). Direct additive effects such as breed, heterosis and recombination (or epistasis), are the effects of crossbreeding^(4,5). Use of multiple regression models has been proposed to estimate the effects of crossbreeding. To this end, the expected fraction of a breed's genes (PG) is included in models to estimate the direct additive effect of breed, as well as the heterozygosity (HT)^(4,5,6) and recombination (RC) coefficients^(7,8,9).

Estimating crossbreeding effects in specific populations allows prediction of the expected productive behavior of different breeds, and establishment of genetic evaluation schemes. These schemes allow selection based on additive genetic values, without the biases caused by heterosis and recombination in multibreed populations^(3,9). The objective of the present study was to estimate the effects of direct genetic effects of breed, heterosis, and recombination losses on total milk production and growth traits in multibreed, dual-purpose cattle populations in the humid tropics of Mexico.

El objetivo de este trabajo fue estimar los efectos genéticos directos de raza, heterosis y de pérdidas por recombinación en poblaciones multirraciales de bovinos de doble propósito en el trópico húmedo de México, para la producción total de leche y características de crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos productivos

Se utilizaron los registros productivos y genealógicos de seis hatos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en cinco Campos Experimentales (CEx): dos hatos en el CEx La Posta y un hato en el CEx de Playa Vicente, ambos en el Estado de Veracruz, CEx Las Margaritas en la Sierra Oriente del estado de Puebla, CEx Matías Romero en Oaxaca y CEx Balancán en Tabasco.

Para la realización de este estudio se utilizaron 5,040 lactancias de cruza de Cebú (CE) con Holstein (HS) [2,253], Suizo Pardo (SP) [1,921] y Simmental (SM) [866].

Producción total de leche. La producción de leche se registró diariamente al momento de la ordeña, calculando la producción total por lactación (PL) con la suma de las producciones diarias durante todo el periodo. Sólo se incluyeron lactaciones con un mínimo de 90 días y hasta un máximo de 800 días.

Características de crecimiento. Se analizaron los siguientes pesos corporales: peso al nacimiento [4,398] y pesos ajustados a los 205 [3,878], 365 [3,017] y 540 [2,276] días de edad (PN, P205, P365 y P540, respectivamente) de acuerdo con la metodología descrita por BIF (Beef Improvement Federation)⁽¹⁰⁾.

Alimentación.

Los animales se alimentaron con base en gramíneas tropicales y suplementados con mezclas de sales minerales *ad libitum*. Los periodos de ocupación de los potreros variaron

MATERIALS AND METHODS

Productive data

Data were taken from production and genetic records of six herds on five experimental fields (CEx) of the National Institute for Forestry, Agricultural and Livestock Research (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - INIFAP): CEx La Posta, Veracruz (2 herds); CEx Palaya Vicente, Veracruz (1 herd); CEx Las Margaritas, Puebla (1 herd); CEx Matías Romero, Oaxaca (1 herd); and CEx Balancán, Tabasco (1 herd). Analyses were performed using data from 5,040 lactations of zebu (ZE) crosses with Holstein (HS) [n= 2,253], Swiss Brown (SP) [1,921] and Simmental (SM) [866].

Milk production. Daily milk production was recorded at time of milking. Lactations were included with a minimum of 90 d and a maximum of 800 d. Total production per lactation was calculated using the sum of daily production during the entire experimental period.

Growth characteristics. Following the methodology described by the Beef Improvement Federation⁽¹⁰⁾, data were collected for birth weight (BW) [n= 4,398], and adjusted weight at 205 d (W205) [3,878], 365 d (W365) [3,017] and 540 d (W540) [2,276].

Feeding

Animals were fed by grazing tropical gramineae supplemented *ad libitum* with a mineral salt mix. Pasture occupation ranged from 1 to 3 d, with rest periods from 35 to 40 d depending on season and forage species. During the dry season, feed was complemented with fresh-cut or preserved forage. At morning and afternoon milkings the animals were provided a commercial concentrated feed (16% crude protein, 70% total digestible nutrients). Calves were raised using restricted nursing, except in one CEx La Posta herd in which artificial nursing was used after weaning at 90 d.

entre uno a tres días, y los periodos de descanso fueron aproximadamente de 35 a 40 días, dependiendo de la época del año y de la especie forrajera. Durante la época de sequía se complementó la alimentación del ganado con forrajes de corte en fresco o conservados. Las vacas recibieron un alimento concentrado comercial (16 % de proteína cruda y 70 % de total de nutrimentos digestibles) al momento de la ordeña por la mañana y por la tarde. El sistema de crianza de los becerros fue amamantamiento restringido, salvo en un hato del CEx La Posta, donde se utilizó crianza artificial con destete a los 90 días.

Estructura y origen de las subpoblaciones

La estructura poblacional en los hatos estuvo integrada por tres subpoblaciones de cruza de razas especializadas (HS, SP y SM). Estas subpoblaciones no tuvieron apareamientos entre ellas, pero sí compartieron el manejo y alimentación dentro del hato. Una parte de las subpoblaciones HS y SP tuvieron su origen en vacas puras importadas de Canadá y Estados Unidos. Estas vacas se sirvieron con semen de toros Cebú de importación, principalmente Brahman. La otra parte de la población tiene su origen en hembras Cebú, principalmente Indubrasil y Brahman, que se sirvieron con semen de toros importados de las razas HS, SP y SM.

Al inicio, el sistema de cruzamiento utilizado fue rotacional de dos razas, donde se alternaban dos generaciones de toros de razas especializadas y una generación de raza cebuina. Posteriormente, el esquema de cruzamiento fue modificado a la utilización de sementales cruzados con la finalidad de mantener las poblaciones en un rango de proporción de raza especializada que variaba entre 50 y 75 %.

Análisis estadístico

Todos los análisis se realizaron mediante la metodología de modelos mixtos utilizando el

Population structure and subpopulation origin

Herd population structure included three subpopulations of specialized breed (HS, SB and SM) crosses. These subpopulations did not interbreed but did share the same handling and feed regimen within the herd. One portion of the HS and SB subpopulations originated from purebred cows imported from Canada and the United States. These were inseminated with semen from imported zebu (mainly Brahman) bulls. The other portion originated from zebu cows (mainly Indubrasil and Brahman) inseminated with semen from imported HS, SB and SM bulls. The crossbreeding system was initially rotational, alternating two generations of specialized breed bulls and one generation of a zebu breed. The system was later modified to use cross bulls to maintain the populations within a 50 to 75 % specialized breed proportion.

Statistical analysis

Analyses were run using the mixed models methodology included in the ASReml program⁽¹¹⁾.

Effects of crossbreeding. The direct effect (PG) of breed was expressed as the percentage of European vs zebu.

The heterozygosity (HT) coefficient and recombination (RC) loss coefficient were calculated as follows:

$$HT = (P_S * (1 - P_M)) + (P_M * (1 - P_S))^{(4,5,6)}$$

$$RC = ((P_S * (1 - P_S)) + (P_M * (1 - P_M)))^{(7,8,9)}$$

where P_S = sire PG and P_M = dam PG.

Total milk production. To estimate the effects of crossbreeding, a repeatability model was used including PG, HT and RC. Five environmental effects were considered as fixed effects in the model: herd; birth year; season (rainy or dry); number of lactations (1 to 3 or more); and

programa ASReml⁽¹¹⁾.

Efectos de cruzamiento: El efecto directo de Raza (PG) se expresó como el porcentaje de la raza europea con respecto al Cebú.

El coeficiente de heterocigocidad (HT) y el coeficiente de pérdidas por recombinación (RC) se estimaron de la siguiente manera:

$$HT = (P_S * (1 - P_M)) + (P_M * (1 - P_S))^{(4,5,6)}$$

$$RC = ((P_S * (1 - P_S)) + (P_M * (1 - P_M)))^{(7,8,9)}$$

Donde: P_S = PG del padre. P_M = PG de la madre.

Producción total de leche. Para la estimación de los efectos de cruzamiento se utilizó un modelo de repetibilidad que incluyó PG, HT y RC. Los efectos ambientales considerados en el modelo como efectos fijos fueron el hato y año de parto, época (lluvias y secas), número de lactancia (1 a 3 o más) y sexo de la cría. La ecuación del modelo fue la siguiente:

$$y = X\beta + Qn + Z_1u + Z_2pe + e$$

Donde: y = vector de los registros de producción total de leche; X = matriz de incidencia para los efectos fijos (hato, año, época y sexo de la cría); Q = matriz de incidencia para los coeficientes de regresión de PG, HT y RC; Z_1 =

offspring sex. The model equation was:

$$y = X\beta + Qn + Z_1u + Z_2pe + e$$

where y = total milk production vector; X = incidence matrix of fixed effects (herd, year, season and offspring sex); Q = incidence matrix of the PG, HT and RC regression coefficients; Z_1 = incidence matrix of animal direct genetic effects; Z_2 = incidence matrix of permanent environmental random effects; β = fixed effects vector; n = PG, HT and RC regression coefficients vector; u = animal direct genetic effects vector ($u \sim N(0, A\sigma^2_u)$); pe = permanent environmental random effects vector ($pe \sim N(0, I\sigma^2_{pe})$); e = residuals vector ($e \sim N(0, I\sigma^2_e)$).

Growth. Records for birth weight (BW) and adjusted weights at 205 (W205), 365 (W365) and 540 (W540) days of age were used for ZE and ZE crosses with HS, SB and SM. To estimate the effects of crossbreeding, the PG, HT and RC covariables were included using an animal model involving genetic, direct, maternal and permanent environmental effects⁽¹²⁻¹⁵⁾. The environmental effects treated as fixed effects were herd, year and birth season (rainy or dry). The rainy season was defined as June to November and the dry season as the remaining months. The equation for the model used to analyze BW, W205 and W365 was:

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas para producción de leche (MP), peso al nacimiento (BW), peso ajustado a los 205, 365 y 540 días (W205, W265 y W540) para la población y cada una de las subpoblaciones multirraciales

Table 1. Descriptive statistics for milk production (MP), birth weight (BW), adjusted weight at 205, 365 and 540 days (W205, W265 and W540) for total population and each multibreed subpopulation

	Total (13,569)			Holstein (4,762)			Swiss Brown (5,142)			Simmental (3,247)			Zebu (418)		
	n	x	SE	n	x	SE	n	x	SE	n	x	SE	n	x	SE
MP	5040	2021	15.7	2253	2358	25.7	1921	1866	23	866	1487	25	NA	NA	NA
BW	4398	36.4	0.95	1524	36.6	0.16	1649	36.5	0.2	1649	36.7	0.2	130	29.3	0.43
W205	3878	152.3	0.64	1335	146.2	0.97	1445	150	1.1	1445	164.3	1.4	112	155.5	2.67
W365	3017	197.7	0.92	1051	191.6	1.54	1176	195	1.4	1176	212.1	2	106	195.1	3.49
W540	2276	262.9	1.22	852	258.6	1.89	872	237	1.9	872	277.1	2.9	70	253.9	5.85

() Number of observations; X = arithmetic mean; SE = standard error. NA = Not available.

matriz de incidencia para los efectos genéticos directos del animal; Z_2 = matriz de incidencia para el efecto aleatorio del ambiente permanente; β = vector de efectos fijos; n = vector de coeficientes de regresión de PG, HT y RC; u = vector de efectos genéticos directos del animal ($u \sim N(0, A\sigma^2_u)$); pe = vector de efectos aleatorios del ambiente permanente ($pe \sim N(0, I\sigma^2_{pe})$); e = vector de residuos ($e \sim N(0, I\sigma^2_e)$).

Crecimiento corporal. Se utilizaron registros de pesos corporales al nacimiento y pesos ajustados a los 205, 365 y 540 días de edad (PN, P205, P365 y P540, respectivamente) de CE y cruza de CE con HS, SP y SM. Para la estimación de los efectos de cruzamiento se incluyeron las covariables de PG, HT y RC utilizando un modelo animal que incluyó los efectos genéticos, directos, maternos y ambientales permanentes⁽¹²⁻¹⁵⁾. Los efectos ambientales considerados en el modelo como efectos fijos fueron el hato, año y época de nacimiento (lluvias y secas). La época de lluvia fue definida desde los meses de junio hasta noviembre; la época de secas el resto de los meses del año.

La ecuación del modelo utilizado para el análisis de PN, P205 y P365 fue:

$$y = X\beta + Qn + Z_1u + Z_3m + Z_4pe + e$$

Donde: X , Q , Z_1 , β , n , u , y e ya fueron definidos en el modelo anterior; y = vector de las observaciones (PN, P205 y P365); Z_3 = matriz de incidencia para los efectos genéticos aditivos maternos; Z_4 = matriz de incidencia para los efectos ambientales permanentes maternos; m = vector de efectos genéticos aditivos maternos ($m \sim N(0, A\sigma^2_m)$); pe = vector de efectos aleatorios maternos ambientales permanentes ($pe \sim N(0, I\sigma^2_{pe})$).

La covarianza entre el vector de los efectos directos (u) y el vector de los efectos maternos

$$y = X\beta + Qn + Z_1u + Z_3m + Z_4pe + e$$

where X , Q , Z_1 , β , n , u , and e were defined as in the previous equation; y = observations vector (BW, W205 or W365); Z_3 = incidence matrix for maternal additive genetic effects; Z_4 = incidence matrix for maternal permanent environmental effects; m = maternal additive genetic effects vector ($m \sim N(0, A\sigma^2_m)$); and pe = maternal permanent environmental effects vector ($pe \sim N(0, I\sigma^2_{pe})$).

The covariance between the direct effects vector (u) and maternal effects vector (m) was assumed to be $A\sigma_{um}$, where A = additive relationships matrix, and σ_{um} = the covariance between direct and maternal genetic effects. In a preliminary analysis for W205 and W365, the likelihood ratio test found no effect for inclusion of the covariance on the estimates, therefore it was fixed at zero (= 0).

The model used for W540 was $y = X\beta + Qn + Z_1u + e$; where the terms were defined as in the previous models.

Cuadro 2 Estadísticas descriptivas de los coeficientes usados en los modelos para estimar el efecto directo de raza (PG), heterocigosidad (HT) y pérdida por recombinación (RC) por subpoblaciones

Table 2. Descriptive statistics of coefficients used in models to estimate direct effects of breed (PG), heterozygosity (HT) and recombination loss (RC) by subpopulations

	Holstein		Swiss Brown		Simmental	
	X	SD	X	SD	X	SD
Milk production:						
PG	0.72	0.185	0.74	0.203	0.67	0.153
HT	0.52	0.352	0.49	0.371	0.64	0.299
RC	-0.15	0.146	-0.13	0.142	-0.15	0.124
Growth:						
PG	0.70	0.171	0.67	0.194	0.67	0.194
HT	0.48	0.241	0.51	0.280	0.51	0.280
RC	-0.25	0.141	-0.22	0.146	-0.22	0.129

X = arithmetic mean; SD = standard deviation.

(m) fue igual a $A\sigma_{um}$, donde A= matriz de relaciones aditivas, y σ_{um} = covarianza entre efectos genéticos directos y maternos. En análisis preliminares previos para P205 y P365 la prueba de razón de verosimilitudes no mostró efecto de la inclusión de la covarianza sobre los estimados, por lo cual se decidió fijar como cero (= 0).

Finalmente para el peso a los 540 días se utilizó el modelo $y = X\beta + Qn + Z_1u + e$; donde los términos del modelo son los mismos que los incluidos en los modelos anteriores.

RESULTADOS

Las estadísticas descriptivas para la producción de leche y pesos corporales en la subpoblación de cruza de HS, SP y SM se presentan en el Cuadro 1. En el Cuadro 2 se muestran las estadísticas de los efectos de cruzamiento (PG, HT y RC) para cada una de las subpoblaciones y para las características de producción de leche y crecimiento corporal (Cuadro 2). En el Cuadro 3 se observan los estimados de PG, HT y RC.

Efecto directo de raza

Los efectos fijos aditivos de raza (PG) sobre PL en las cruza de HS y SP fueron significativos ($P < 0.10$). Para el caso de PN y P205 los PG fueron significativos en las subpoblaciones SP y SM ($P < 0.10$). En cambio, para P540, fueron significativos en las subpoblaciones cruzadas de HS y SP ($P < 0.10$), como se muestra en el Cuadro 3.

Heterosis

Sólo la subpoblación SM presentó valores de HT significativos ($P < 0.10$) para PL y PN. Todas las subpoblaciones presentaron valores de HT estadísticamente significativos para los pesos P205, P365 y P540 (Cuadro 3).

Pérdidas por recombinación

No se encontraron pérdidas por recombinación significativas para PL ($P > 0.10$). En el caso de

RESULTS

Descriptive statistics were generated for MP and growth within the subpopulations HS, SP and SM (Table 1). Table 2 presents statistics for the crossbreeding effects (PG, HT and RC) within subpopulations and trait. Estimates of PG, HT and RC are presented in Table 3.

Breed direct effect

The fixed additive effects of breed (PG) on MP were significant ($P < 0.10$) in the HS and SB crosses. For BW and W205, the PG were

Cuadro 3. Estimados (errores estandar en paréntesis) de efectos de cruzamiento para las poblaciones multirraciales de ganado bovino de doble propósito

Table 3. Estimates (standard errors in parentheses) of crossbreeding effects for multibreed, dual-purpose cattle

Effect/Breed	Characteristics [¥]				
	MP	BW	W205	W365	W540
PG/HS	1889.75* (352.8)	0.54 (0.8)	-12.1+ (4.8)	-25.9* (6.6)	-42.1* (8.4)
PG/SB	1482.06* (354.1)	6.81* (0.8)	-23.1* (4.5)	-46.1** (6.2)	-51.3* (8.2)
PG/SM	768.81 (404.1)	4.40* (1.10)	27.9* (6.2)	4.4 (8.9)	-9.8 (12.0)
HT/HS	647.89 (215.9)	1.03 (0.6)	20.9* (3.4)	28.3* (4.8)	40.8** (6.3)
HT/SB	625.09 (216.3)	1.56+ (0.6)	35.5** (3.3)	42.3** (4.4)	55.4** (6.0)
HT/SM	844.95* (253.1)	2.02* (0.6)	24.5** (3.4)	30.8* (5.0)	41.6** (6.6)
RC/HS	-409.34 (261.2)	-7.07* (1.6)	53.2* (9.8)	35.1+ (13.1)	50.2+ (16.5)
RC/SB	-170.16 (269.9)	1.25 (1.3)	74.7** (8.2)	50.2* (10.8)	77.1* (13.9)
RC/SM	-623.52 (526.7)	2.74 (1.9)	144.6*** (10.9)	130.9** (15.7)	127.4** (19.8)

[¥] All values (milk or live weight) expressed in kilograms.

MP= milk production; BW= birth weight; W205= adjusted weight at 205 d; W365= adjusted weight at 365 d; W540= adjusted weight at 540 d.

PG= direct additive effect of breed versus Zebu; HT= heterozygosity coefficient; RC= recombination coefficient; HS= Holstein; SB= Swiss Brown; SM= Simmental.

Regression coefficients differing from zero

+ ($P < 0.15$); * ($P < 0.1$); ** ($P < 0.05$); *** ($P < 0.01$).

las características de crecimiento, RC sólo fue importante ($P<0.10$) para PN de la subpoblación de cruza HS y para P205, P365 y P540 en las subpoblaciones cruzadas SP y SM (Cuadro 3).

DISCUSIÓN

Los resultados sugieren la necesidad de incluir los efectos de cruzamiento durante la predicción de valores genéticos, ya que representan una fuente de variación importante en las poblaciones multirraciales y características aquí estudiadas.

La producción de leche de las cruza de HS fue superior en un 21.6 % con respecto a las cruza con SP, lo cual es consistente con lo encontrado en otras poblaciones de ganado bovino cruzado en condiciones tropicales⁽¹⁶⁾; pero inferior a lo observado en poblaciones multirraciales en África⁽¹²⁾. Los efectos genéticos aditivos de raza han sido estimados tanto en poblaciones cruzadas como entre poblaciones de ganado lechero, tal es el estudio entre la población de Holstein de Reino Unido y Estados Unidos de América, donde se estimó un PG positivo para el efecto aditivo de la población americana sobre la inglesa^(4,5).

Los efectos genéticos aditivos directos positivos de la raza HS para peso al destete han sido previamente informados en algunas poblaciones cruzadas de doble propósito en África⁽¹²⁾. De igual manera, se han estimado efectos positivos de PG de razas especializados en la producción de carne en las razas *B. taurus*; aunque la magnitud de los estimados varía dependiendo de la separación filogenética o especialización de las poblaciones de las razas. Un factor adicional a tomar en cuenta son las condiciones ambientales, sistemas de producción y los objetivos de selección presentes en las poblaciones parentales, ya que no necesariamente corresponden a las condiciones de las poblaciones cruzadas⁽¹⁷⁾. Por lo que esta situación se sugiere como posible causa de los estimadores negativos de PG en las

significantes ($P<0.10$) en la SB and SM subpopulations, while for W504 they were significant ($P<0.10$) in the crossbred HS and SB subpopulations (Table 3).

Heterosis

Only the SM subpopulation exhibited significant HT values for MP and BW. All the subpopulations had significant HT values for W205, W365 and W504 (Table 3).

Recombination losses

No significant changes in MP were observed due to recombination losses ($P>0.10$). In terms of growth, RC was only significant ($P<0.10$) for BW in the HS cross subpopulation, and for W205, W365 and W504 in the SB and SM cross subpopulations (Table 3).

DISCUSSION

The effects of crossbreeding need to be included when predicting genetic values because they represent a significant source of variation in the studied multibreed populations and characteristics.

Milk production was 21.6 % higher in HS crosses than in SP crosses, which is consistent with other cattle crossbred populations under tropical conditions⁽¹⁶⁾, but lower than observed in multibreed populations in Africa⁽¹²⁾. The additive genetic effects of breed have been estimated both in crossbred populations and between dairy cattle populations. For instance, in a study of Holstein populations in the United Kingdom and the United States, a positive PG was estimated for the additive effect of the American population over the English one^(4,5). Positive direct additive genetic effects of HS have been determined for weight at weaning for crossed dual-purpose populations in Africa⁽¹²⁾. The positive effects of PG have also been estimated for specialized beef production breeds (*B. taurus*), although estimated magnitude varied

características de crecimiento (P205, P365 y P540).

Los estimados de heterosis obtenidos en el presente trabajo siempre fueron significativos para la cruce de SM con CE ($P < 0.10$) en todas las características, en cambio para las cruces de CE con HS y SP sólo tuvieron efecto significativo para P205, P365 y P540. El resto de los estimadores tienden a ser positivos, pero no difieren de cero. La heterosis estimada para PL en poblaciones cruzadas de *B. taurus taurus* x *B. taurus indicus* ha sido informada con valores aproximados de 18 % en poblaciones resultado de la cruce de HS, SP y Jersey con CE⁽¹⁷⁾. Otros estudios donde se incluyeron poblaciones cruzadas *B. taurus taurus* x *B. taurus taurus* y *B. taurus taurus* X *B. taurus indicus* confirman lo anterior con las cruces de SP con CE⁽¹²⁾. Estudios similares en poblaciones de raza Holstein han demostrado la presencia de efectos positivos de heterosis en cruzamientos entre poblaciones de distintos países como por ejemplo entre Estados Unidos de América y el Reino Unido, en cuyo caso, los autores lo atribuyen a la divergencia entre ambas poblaciones debida a procesos de selección diferentes^(4,5).

En poblaciones cruzadas especializadas en la producción de carne tanto *B. taurus taurus* como *B. taurus taurus* X *B. taurus indicus* se ha estudiado la heterosis para crecimiento corporal, características de la canal y eficiencia productiva. La información disponible en poblaciones cruzadas de doble propósito es limitada, debido al énfasis económico que se ha tenido en la producción de leche en los programas de cruzamiento en este sistema productivo tropical. Los resultados presentados en poblaciones cruzadas *B. taurus taurus* X *B. taurus indicus* en condiciones tropicales de África informan de efectos significativos de heterosis sobre el peso al destete y al año ($P < 0.10$)^(7,8). Por lo que el mantenimiento de heterosis adecuados podrá representar ventajas

due to phylogenetic separation or breed population specialization. Additional factors worth considering are environmental conditions, production systems and the selection objective in the parent populations, because these may not correspond to the conditions of the crossbred population⁽¹⁷⁾. This same situation may be the cause for the negative PG estimators observed here in growth characteristics (i.e. W205, W365 and W540).

In the SM/ZE cross studied here, heterosis estimates were significant ($P < 0.10$) for all characteristics. In contrast, the ZE/HS and ZE/SB crosses only had a significant effect for W205, W365 and W540. All other estimators tended to be positive but not different from zero. Heterosis has been estimated previously for MP in *B. taurus taurus* x *B. taurus indicus* populations with values near 18 % for crosses between ZE and HS, SB and Jersey breeds⁽¹⁷⁾. Studies including *B. taurus taurus* x *B. taurus taurus* and *B. taurus taurus* X *B. taurus indicus* populations confirm the same phenomenon in ZE/SB crosses⁽¹²⁾. A similar study of HS populations identified positive effects for heterosis in crosses between populations in the United States and the United Kingdom. The difference was attributed to divergence between the studied populations in response to different selection processes^(4,5). The effect of heterosis on parameters such as growth, carcass traits and productive efficiency has been thoroughly studied in both *B. taurus taurus* and *B. taurus taurus* X *B. taurus indicus* specialized beef crosses. However, very little data is available on this effect in dual-purpose crossed populations in the tropics, because the focus is on milk production in these areas. Results reported for *B. taurus taurus* X *B. taurus indicus* populations in tropical Africa indicate significant ($P < 0.10$) heterosis effects on weaning weight and year^(7,8). Therefore, maintaining adequate heterosis may improve productive performance and prove to be a financial advantage.

económicas con base a un mejor comportamiento productivo.

La ruptura de efectos de interacciones interlocus (epistasia) en el genoma permiten explicar algunas desviaciones en el comportamiento productivo en poblaciones cruzadas *B. taurus taurus* X *B. taurus indicus*. Los resultados demuestran un decremento en la producción de leche en base a los estimados de recombinación⁽¹⁷⁾. Sin embargo, otros resultados muestran un efecto positivo de la recombinación en la producción de leche en una población cruzada de Ayrshire con Cebú en el trópico africano⁽¹⁷⁾. Cabe hacer mención que los estimadores presentados en este estudio para recombinación no fueron significativamente diferentes de cero ($P>0.10$), lo que nos sugiere que el sentido y magnitud de los estimadores de recombinación varían de acuerdo a las razas involucradas en el cruzamiento.

De la misma manera, los estimados de recombinación presentados para las características de crecimiento en poblaciones cruzadas *B. taurus taurus* X *B. taurus indicus* en condiciones tropicales son escasos y no son siempre consistentes entre ellos. Los estimadores de recombinación obtenidos en poblaciones cruzadas y en condiciones tropicales se han presentado con signo negativo para peso al destete y al año de edad, aunque no para todas las cruza incluidas ($P<0.10$)^(7,8).

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Las poblaciones cruzadas de bovinos de doble propósito en el trópico mexicano requieren del desarrollo de procesos de evaluación genética que permitan predecir los valores genéticos aditivos de los animales de modo no sesgado y preciso. Los resultados presentados demuestran la importancia que tiene la inclusión de los efectos aditivos directos de raza, heterosis y recombinación, en los modelos de evaluación genética para el desarrollo de programas de

Breaks in the effects of interloci interactions (i.e. epistasia) in the genome may explain some deviations in productive performance in *B. taurus taurus* X *B. taurus indicus* populations. In previous studies, RC estimates have shown a negative effect on MP with some crosses, but a positive effect in an Ayrshire/zebu cross in tropical Africa⁽¹⁷⁾. In the present study, the RC estimators did not differ from zero ($P>0.10$), suggesting that the direction and magnitude of RC estimators vary according to the breeds involved in a cross. Recombination estimates for growth characteristics in *B. taurus taurus* X *B. taurus indicus* populations under tropical conditions are limited and not very consistent. For crossbred populations under tropical conditions, RC estimators are negative for weaning weight and age, although not for all the crosses involved ($P<0.10$)^(7,8).

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

Dual-purpose, crossbred cattle populations in the tropics of Mexico require genetic evaluation processes that allow unbiased, precise prediction of animal additive genetic values. The results demonstrate the importance of including the direct additive effects of breed, heterosis and recombination loss in genetic evaluation models to develop crossbreeding programs and carry out selection in multibreed populations. Estimation of the effects of crossbreeding depends on the breed involved, the environment and the production system to be used. Although the effects of crossbreeding analyzed here were not statistically significant in all cases, omitting the effects of crossbreeding in genetic improvement programs in this type of population would generate biases in value prediction, and consequently in the estimation and evaluation of animal productive performance.

ACKNOWLEDGEMENTS

The results reported here form part of research partially financed by Nestlé México, S.A. de C.V.

cruzamiento y selección en poblaciones multirraciales. Las estimaciones de los efectos de cruzamiento dependen tanto de las razas involucradas como del medio ambiente y el sistema de producción en el cual se van a utilizar. Finalmente se concluye que pese a no ser estadísticamente significativo en todos los casos, la omisión de los efectos de cruzamiento en los programas de mejoramiento genético en este tipo de poblaciones generaría sesgos en la predicción de valores, y por ende en la estimación y evaluación del comportamiento productivo de los animales en este sistema de producción.

through the project "Mejoramiento Genético de Ganado Bovino de Doble Propósito en el Trópico Mexicano" del INIFAP; by the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) through a Masters scholarship awarded the first autor; and the Programa Ejecutivo de Cooperación Científica y Tecnológica México – Italia 2007-2009 through the project "Evaluación del Genotipo de Bovinos Cruzados Utilizados en Sistemas de Doble Propósito en Climas Tropicales". The present study results do not reflect the opinion or point of view of Nestlé México, CONACYT or the Programa Ejecutivo de Cooperación Científica y Tecnológica México – Italia.

End of english version

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Compañía "Nestlé México" SA de CV por el financiamiento del Proyecto de Mejoramiento Genético de Ganado Bovino de Doble Propósito en el Trópico Mexicano del INIFAP, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada al primer autor durante el desarrollo del programa de maestría y al Programa Ejecutivo de Cooperación Científica y Tecnológica México – Italia 2007-2009 a través del Proyecto "Evaluación del Genotipo de Bovinos Cruzados Utilizados en Sistemas de Doble Propósito en Climas Tropicales". Los resultados del presente trabajo no reflejan la opinión o punto de vista de la compañía Nestlé México, CONACYT o el Programa Ejecutivo de Cooperación Científica y Tecnológica México – Italia.

LITERATURA CITADA

1. Dios Vallejo OO. Ecofisiología de los bovinos en sistemas de producción del trópico húmedo. Primera ed. México. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 2001.
2. Koppel RET, Ortiz OGA, Ávila DA, Lagunes LJ, Castañeda MOG, López GI, Aguilar BU, *et al.* Manejo de ganado bovino

de doble propósito en el trópico. INIFAP-CIRGOC. Libro técnico Num. 5. 2ª ed. Veracruz. México.2002.

3. Van Der Werf JHJ, De Boer W. Estimation of genetic parameters in a crossbred population of black and white cattle. *J Dairy Sci* 1989;72(10):2615-2623.
4. Akbas Y, Brotherstone S, Hill WG. Animal model estimation of non-additive genetic parameters in dairy cattle, and their effect on heritability estimation and breeding value prediction. *J Anim Breed Genet* 1993;110(1-6):105-113.
5. Brotherstone S, Hill WG. Estimation of non-additive genetic parameters for lactations 1 a 5 and survival in Holstein-Friesian dairy cattle. *Livest Prod Sci* 1994;40(2):115-122.
6. Arthur PF, Hernshaw H, Stephenson PD. Direct and maternal additive and heterosis effects from crossing *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle: cow and calf performance in two environments. *Livest Prod Sci* 1999;57(3):231-241.
7. Demeke S, Nesor FWC, Schoeman SJ. Early growth performance of *Bos taurus* X *Bos indicus* cattle crosses in Ethiopia: Evaluation of different crossbreeding models. *J Anim Breed Genet* 2003;120(1):39-50.
8. Demeke S, Nesor FWC, Schoeman S. Early growth performance of *Bos taurus* X *Bos indicus* cattle crosses in Ethiopia: Estimation of individual crossbreeding effects. *J Anim Breed Genet* 2003;120(4):245-257.
9. Hirooka H, Groen AbF, Van der Werf, JHJ. Estimation of additive and non-additive genetic parameters for carcass traits on bulls in dairy, dual purpose and beef cattle breed. *Livest Prod Sci* 1998;54(2):99-105.
10. BIF. Beef Improvement Federation. Guidelines for uniform beef improvement programs. 8th ed. The University of Georgia, Athens. 2002.

11. Gilmour AR, Gogel BJ, Cullis BR, Welham SJ, Thompson R. ASReml User Guide (Release 1.0). VSN International Ltd, Hemel Hempstead, UK. 2002.
12. Kahi AK, Thorpe W, Nitter G, Baker RL. Crossbreeding for dairy production in the lowland tropics of Kenya. I. Estimation of individual crossbreeding effects on milk production and reproductive traits and on cow live weight. *Livest Prod Sci* 2000;63(1):39-54.
13. Meyer K, Carric MJ, Donnelly BJP. Genetic parameters for milk productions of Australian beef cows and weaning weight of their calves. *J Anim Sci* 1994;(72):1155-1165.
14. Groeneveld E, Mostert BE, Rust T. The covariance structure of growth traits in the Afrikaner beef population. *Livest Prod Sci* 1998;55(2):99-107.
15. Tosh JJ, Kemp RA, Ward DR. Estimates of direct and maternal genetic parameters for weights and backfat thickness in a multibreed population of beef cattle. *Can J Anim Sci* 1999;79(4):433-439.
16. Syrstad O. Relative Merit of various *Bos taurus* dairy breeds for cross-breeding with *Bos indicus* cattle. *Livest Prod Sci* 1985;13(4):351-357.
17. Syrstad O. Heterosis in *Bos taurus* X *Bos indicus* crosses. *Livest Prod Sci* 1985;12(4):299-307.
18. Miller SP, Wilton JW. Genetic relationship among direct and maternal components of milk yield and maternal weaning gain in a multibreed beef herd. *J Anim Sci* 1999;77(5):1155-1161.