

Efectos genéticos directos, maternos y heterosis individual para tasas de estro, gestación, parición y destete de vacas Criollo, Guzerat y sus cruzas F1

Breed effects and individual heterosis for pregnancy, calving and weaning rates in Criollo, Guzerat and F1 cows

Guillermo Martínez Velázquez^a, Moisés Montaña Bermúdez^a, José Antonio Palacios Fránquez^b

RESUMEN

Para estimar las diferencias entre efectos genéticos directos y maternos, la heterosis individual y comparar las tasas de estro (TE), gestación (TG), parición (TP) y destete (TD), se utilizaron 464 registros reproductivos generados durante los años 2000, 2001, 2002 y 2003. Los registros se obtuvieron de vacas Guzerat (G, n=202), Criollo (C, n=126), Criollo-Guzerat (CG, n=101) y Guzerat-Criollo (GC, n=35). La información se analizó con Proc Genmod de SAS, considerando la distribución binomial y medidas repetidas. Para TE y TG el modelo final incluyó los efectos fijos de genotipo de la vaca (GE), estado productivo (E, con cría y sin cría), número de parto (NP), época y año de empadre. Para TP y TD el modelo final incluyó los efectos fijos de GE, E, NP, época y año de parto. Para TD las vacas C, CG y GC mostraron promedios superiores ($P \leq 0.10$) a los de vacas G, en 14, 16 y 25 %, respectivamente. La heterosis individual fue importante ($P < 0.10$) en 20, 15, 13 y 13 % para TE, TG, TP y TD, respectivamente. No se detectaron diferencias ($P > 0.10$) entre los efectos genéticos directos de Criollo y Guzerat para ninguna de las variables. Los efectos maternos sólo fueron importantes ($P \leq 0.10$) para TP a favor de las vacas Criollas en 15 %. Considerando aprovechar el efecto favorable de la heterosis sobre TE, TG, TP y TD, las vacas cruzadas GC y CG son opciones viables para la producción de becerros en Nayarit, México.

PALABRAS CLAVE: Bovinos de carne, Fertilidad, Efectos raciales, Heterosis.

ABSTRACT

Reproductive records of beef cows were collected in 2000, 2001, 2002 and 2003 to estimate direct and maternal genetic effects and to compare estrous (ER), pregnancy (PR), calving (CR) and weaning (WR) rates. Data was collected from Guzerat (G, n=202), Criollo (C, n=126), Criollo x Guzerat (CG, n=101) and Guzerat x Criollo (GC, n=35) cows. Analyses were carried out with the GENMOD procedure of SAS, considering a binomial distribution and repeated measurements. Models for ER and PR included the fixed effects of genotype of the cow (GE), productive status (PS, with or without a calf), number of calving (CN), season of breeding and year of breeding. Fixed effects included to the model for CR and WR were GE, PS, CN, season of calving and year of calving. Least squares means from the analyses were converted as follows: $e(MCM) / ((1 + e)MCM)$. WR was 14, 16 and 25 % higher ($P \leq 0.10$) for C, CG and GC cows compared to G cows. Individual heterosis was important ($P < 0.10$) for ER, PR, CR and WR, with estimates of 20, 15, 13 and 13 %, respectively. Non significant differences ($P > 0.10$) between direct genetic effects of Criollo and Guzerat were detected. Maternal differences were favorable in 15 % ($P \leq 0.10$) to Criollo, for CR. Results suggest that GC and CG cows are alternatives to produce beef calves in Nayarit, México.

KEY WORDS: Beef cattle, Fertility, Breed effects, Heterosis.

Recibido el 27 de junio de 2005 y aceptado para su publicación el 23 de diciembre de 2005.

^a Campo Experimental "El Verdineño", Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Edificio SAGARPA Av. Insurgentes # 1050 Ote. Col. Menchaca 63150. Tepic, Nayarit, México Teléfono y fax (323) 23 47800. martinez.guillermo@inifap.gob.mx, gmv1us@yahoo.com Correspondencia al primer autor.

^b CENID-Fisiología, INIFAP.

INTRODUCCIÓN

La fertilidad en bovinos productores de carne es un componente importante a considerar para evaluar la eficiencia económica del sistema vaca-cría^(1,2). Sin embargo, el mejoramiento genético por selección de la fertilidad bovina es difícil puesto que ésta es el resultado de diferentes variables, cuya heredabilidad es, en general, baja⁽³⁾. Así, una opción a considerar para el mejoramiento genético de la eficiencia reproductiva en bovinos productores de carne es el diseño de sistemas de cruzamiento, para utilizar los efectos genéticos no aditivos que influyen sobre el comportamiento reproductivo de las vacas.

Es importante mencionar, sin embargo, que para establecer esquemas de cruzamiento eficientes se requiere definir la combinación de razas apropiadas al ambiente y al sistema de producción involucrados⁽⁴⁾, así como también conocer los efectos genéticos directos, maternos y los valores de heterosis esperada en las cruzas. Lo anterior, considerando que el aprovechamiento de la heterosis contribuye a la eficiencia reproductiva del sistema vaca-cría por medio de la utilización de vacas cruzadas^(5,6). Así, la recomendación para los ganaderos que se dedican a la producción de becerros para la engorda, es que utilicen vacas cruzadas para incrementar la eficiencia reproductiva en los ranchos comerciales⁽⁷⁾. Considerando lo anterior, el objetivo del presente estudio fue estimar efectos genéticos directos, maternos y de heterosis individual y comparar tasas de estro, gestación, parición y destete de vacas Criollo, Guzerat y sus cruzas recíprocas F1.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Campo Experimental "El Verdineño" (INIFAP-SAGARPA), ubicado en el municipio de Santiago Ixc., Nayarit, en condiciones de trópico subhúmedo Aw², con precipitación pluvial promedio de 1,200 mm y temperatura media anual de 24 °C⁽⁸⁾.

Se utilizaron 202 registros reproductivos de vacas Guzerat (G), 126 registros de vacas Criollo (C),

INTRODUCTION

Fertility of the beef herd is an important component to consider when evaluating the economic efficiency of the cow-calf system^(1,2). However, genetic improvement by selection of beef cow fertility is not a simple matter but the outcome of many components representing, in general, lowly heritable traits⁽³⁾. Thus, an option to improve the reproductive efficiency of beef cattle is to design crossbreeding systems in order to take advantage of non additive gene effects influencing the reproductive performance of beef cows.

Establishing effective crossbreeding systems, however, requires the knowledge of appropriate breed combination under different environmental and management conditions⁽⁴⁾. It also requires the knowledge of direct and maternal genetic effects and estimates of heterosis considering that heterosis contributes to the efficiency of the cow-calf system through the use of crossbred cows^(5,6). Thus, recommendation for cow-calf producers is to use crossbred cows to increase reproductive efficiency on commercial herds⁽⁷⁾. The objective of the present study was to estimate direct and maternal genetic effects, individual heterosis, and to compare estrous, pregnancy, calving and weaning rates of Criollo and Guzerat cows and their F1 reciprocal crosses.

MATERIALS AND METHODS

The study was carried out at El Verdineño Experimental Station (INIFAP-SAGARPA) in the municipality of Santiago Ixc, Nayarit, Mexico. The region has a subhumid tropical environment (Aw²), average annual rainfall of 1,200 mm and an average annual temperature of 24 °C⁽⁸⁾.

Reproductive records collected in years 2000, 2001, 2002 and 2003 were used. Two hundred and two (202) records were from Guzerat (G), 126 were from Criollo (C), 101 were from Criollo x Guzerat (CG) and 35 were from Guzerat x Criollo (GC) cows. Cows and calves grazed mostly in llanero grass (*Andropogon gayanus*) and were supplemented with a 2.5% molasses-urea mixing (1 kg/head/day) during the months of March, April and May of

101 registros de vacas Criollo x Guzerat (CG) y 35 registros de vacas Guzerat x Criollo (GC). La información se generó durante los años 2000, 2001, 2002 y 2003. Las vacas y sus crías se mantuvieron en pastoreo en praderas de pasto llanero (*Andropogon gayanus*), con suplementación a base de melaza-urea al 2.5 % (1 kg/cabeza/día) durante los meses de marzo, abril y mayo de cada año. Los animales dispusieron de minerales a libre acceso (sal común 40 %, ortofosfato de calcio 56 % y minerales trazas 4 %) durante todo el año. El manejo reproductivo incluyó dos empadres al año, durante la primavera y el otoño, con duración de 45 días cada uno, y en los cuales se utilizó inseminación artificial. Los empadres se iniciaron alrededor del 15 de marzo y 15 de septiembre de cada año. Los partos se presentaron en dos épocas (entre diciembre y febrero y entre junio y agosto de cada año). Las crías se pesaron e identificaron en las primeras 24 h de vida, y permanecieron con las vacas hasta el destete, que se realizó a los siete meses de edad en promedio.

Para el análisis de los datos se utilizó el procedimiento Genmod, considerando un análisis para medidas repetidas, del paquete estadístico SAS⁽⁹⁾; este procedimiento se utiliza para modelos lineales generalizados, y permite la estimación de los parámetros para variables con distribuciones probabilísticas como la normal, la binomial y la Poisson, entre otras⁽¹⁰⁾. Las características analizadas fueron tasa de estro (TE), tasa de gestación (TG), tasa de parición (TP) y tasa de destete (TD). Cada variable se definió como total de hembras en calor (TE), total de hembras gestantes (TG), total de hembras paridas (TP) o total de hembras que destetaron una cría (TD), divididos entre el total de hembras en empadre. Así, TE, TG, TP o TD se codificaron como uno cuando la hembra presentó estro, gestó, parió o destetó una cría, dado que había estado en el empadre correspondiente, y como cero en caso contrario. Para TE y TG el modelo final incluyó los efectos fijos de genotipo de la vaca (GE = G, C, CG y GC), estado productivo (E = con cría y sin cría), número de parto (NP), época de empadre (dos épocas) y año de empadre (tres años). Para TP y TD el modelo final incluyó los efectos fijos

each year. All animals had *ad libitum* access to minerals (40% salt; 56% calcium orthophosphate; 4% trace minerals) all year round. Reproductive management included two breeding seasons (spring and fall) beginning on March 15th and September 15th of each year. Cows were bred by AI during 45 d each breeding season. Consequently, calving seasons were from December to February and from June to August each year. Calves were weighted and identified within the first 24 h after birth and remained with their dams until weaning at seven months of age, on average.

Data analysis was carried out with the Genmod procedure of SAS considering a binomial distribution and repeated measurements⁽⁹⁾. This procedure can be applied to generalized linear models to estimate parameters of variables having the Normal, Binomial or Poisson distribution among others⁽¹⁰⁾. Analyzed traits included estrous rate (ER), pregnancy rate (PR), calving rate (CR) and weaning rate (WR). Each variable was defined as the total number of mating cows in a breeding season dividing the total amount of cows in estrous (ER), total cows pregnant (PR), total cows calving (CR) or total cows weaning a calf (WR) from the same breeding season. Thus, ER, PR, CR or WR was codified as 1 if the cow showed estrous, was pregnant, calved or weaned a calf and as zero, otherwise. Final models for ER and PR included the fixed effects of genotype of the cow (GE = G, C, CG or GC), productive status (PS = with or without a calf), number of calving (CN), season of breeding (two levels) and year of breeding (three levels). For CR and WR the final model included the effects of GE, PS, CN, season of calving (two levels) and year of calving (three levels). Final models included interactions of two factors that were significant ($P < 0.25$) in preliminary analyses. The estimated least squares means (LSM) were interpreted with the transformation⁽¹⁰⁾: $e^{(LSM)} / ((1+e)^{LSM})$.

Contrasts were used to estimate individual heterosis and differences between direct genetic effects and maternal genetic effects of Criollo and Guzerat breeds, based on the following models^(11,12):

$$G = \mu_n + g^i_G + g^M_G + g^N_G$$

de GE, E, NP, época de parto (dos épocas) y año de parto (tres años). Los modelos finales incluyeron las interacciones de dos factores significativos ($P < 0.25$) en los análisis preliminares. Para interpretar las medias de cuadrados mínimos (MCM) estimadas se realizó la transformación siguiente⁽¹⁰⁾: e (MCM) / ((1+e)MCM).

Se utilizaron contrastes para estimar la heterosis individual y las diferencias entre los efectos genéticos directos y los efectos genéticos maternos de Criollo y Guzerat con base en los modelos^(11,12) siguientes:

$$G = \mu_n + g^i_G + g^M_G + g^N_G$$

$$C = \mu_n + g^i_C + g^M_C + g^N_C$$

$$GC = \mu_n + \frac{1}{2} (g^i_G + g^i_C) + g^M_C + g^N_C + h^i_{GC}$$

$$CG = \mu_n + \frac{1}{2} (g^i_C + g^i_G) + g^M_G + g^N_G + h^i_{CG}$$

En donde:

G y C = son Guzerat y Criollo; GC y CG = son cruza recíprocas entre G y C; μ_n = promedio de las razas puras involucradas en el cruzamiento dialélico; g^i_G y g^i_C = desviación debida al efecto directo promedio de los genes del individuo, provenientes de la raza G o C; g^M_G y g^M_C = desviación debida a los efectos promedio, a través del ambiente materno, por genes de madres de raza G o C; g^N_G y g^N_C = desviación debida a los efectos promedio, a través del ambiente materno de las abuelas G o C, que puede afectar la habilidad materna de sus hijas; h^i_{CG} y h^i_{GC} = desviación debida al incremento de la heterocigosis promedio de cruza F1CG y GC.

Para estimar las diferencias entre los efectos genéticos directos de G y C, se utilizó el contraste (G + GC - C - CG), mientras que con el contraste CG - GC se estimaron diferencias entre los efectos genéticos maternos, asumiendo que $g^N_G - g^N_C$ fue igual a cero. La heterosis individual se calculó mediante el contraste $[G C + C G - G - C] / 2$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Efecto del genotipo

En el Cuadro 1 se presentan los resultados para las

$$C = \mu_n + g^i_C + g^M_C + g^N_C$$

$$GC = \mu_n + \frac{1}{2} (g^i_G + g^i_C) + g^M_C + g^N_C + h^i_{GC}$$

$$CG = \mu_n + \frac{1}{2} (g^i_C + g^i_G) + g^M_G + g^N_G + h^i_{CG}$$

Where:

G and C = Guzerat and Criollo; GC and CG = reciprocal crosses between G and C; μ_n = average of purebreds involved in the diallel crossing; g^i_G and g^i_C = deviation from average direct effect of individual genes from G or C breeds; g^M_G and g^M_C = deviation from average effects, via maternal environment, of genes from G or C dams; g^N_G and g^N_C = deviation from average effects, via maternal environment of G or C grandmothers, that could affect maternal ability of their daughters; h^i_{CG} and h^i_{GC} = deviation from increased average heterozygosity of F1 CG and GC crosses.

The contrast (G + GC - C - CG) was used to estimate differences between the direct genetic effects of G and C, while the contrast CG - GC was used to estimate differences between maternal genetic effects, assuming that $g^N_G - g^N_C$ was equal to zero. Individual heterosis was calculated with the contrast $[G C + C G - G - C] / 2$.

RESULTS AND DISCUSSION

a) Genotype effect

Results for all variables are presented in Table 1. Averages for ER and PR were higher ($P \leq 0.10$) for C, CG and GC cows (20, 26 and 33 % for ER; 14, 18 and 26 % for PR, respectively) than those of G cows. ER and PR from the present study suggest better reproductive efficiency in C, CG and GC cows. Other studies^(13,14,15) also indicate better pregnancy rates of *Bos indicus* x *Bos taurus* crosses compared to Zebu cows. Data for *Bos indicus* and F1 *Bos taurus* x *Bos indicus*⁽¹³⁾ cows showed pregnancy rates of 85 ± 5 , 82 ± 4 and 79 ± 5 % for cows born from Zebu dams and Angus, Hereford and Swiss Brown sires, respectively, which were significantly different ($P < 0.05$) to

diferentes variables analizadas. Las hembras C, CG y GC mostraron promedios para TE y TG diferentes ($P \leq 0.10$) a los de hembras G. Las diferencias mencionadas fueron de 20, 26 y 33 % para TE, y de 14, 18 y 26 % para TG, a favor de C, CG y GC, respectivamente. Los porcentajes de estros y gestaciones del presente estudio sugieren una mayor eficiencia reproductiva de las vacas C, CG y GC. Otros estudios^(13,14,15) también han encontrado que vacas cruzadas *Bos indicus* x *Bos taurus* presentan mayores porcentajes de preñez que vacas puras Cebú. Así, información generada con ganado *Bos indicus* y F1 *Bos taurus* x *Bos indicus*⁽¹³⁾, estableció porcentajes de gestación de 85 ± 5 , 82 ± 4 y 79 ± 5 % para hembras nacidas de vacas Cebú y sementales Angus, Hereford y Suizo Pardo, que fueron diferentes ($P < 0.05$) a los porcentajes de gestación de hembras hijas de vacas Cebú y sementales Indobrasil, Brahman y Charolais, con 66 ± 4 , 67 ± 4 y 65 ± 5 %, respectivamente. De igual manera, un estudio en el que se evaluó la fertilidad de vacas Angus, Brahman y Charolais y diferentes cruza entre las mismas razas⁽¹⁴⁾, se encontraron promedios de gestación de 92.9 y 93.0 % para vacas F1 y cruzadas de tres razas, mientras que en promedio las razas puras tuvieron un porcentaje de gestación de 85.8 %. Asimismo, en un experimento en el que se compararon características reproductivas entre hembras F1, los mayores porcentajes de preñez correspondieron a hembras *Bos indicus* x *Bos taurus* con 91.0, 93.8, 96.0, 96.4 y 97.0 % (para hembras nacidas de vacas Hereford y sementales Indobrasil, Brahman Rojo, Gyr, Brahman Gris y Nellore), mientras que vacas F1 Angus x Hereford mostraron una tasa de gestación de 87.4 %⁽¹⁵⁾. Contrastando con los resultados previos, un estudio sobre el comportamiento reproductivo de hembras Angus apareadas con sementales *Bos indicus* y *Bos taurus*, estimó tasas de preñez de 54.8, 66.7 y 72.8 % cuando las vacas fueron preñadas por toros Brahman, Senepol y Tuli. En este estudio⁽¹⁶⁾ se demostró que vacas Angus apareadas con toros Brahman disminuyeron su eficiencia reproductiva en comparación a vacas Angus apareadas con toros Senepol y Tuli. Por otro lado, tasas de gestación bajas fueron encontradas en vacas Angus (65.7 %), Criollo (49.7 %) y F1 Criollo x Angus (65.1 %),

pregnancy rates of cows born from Zebu dams and Indobrasil, Brahman and Charolais sires with percentages of 66 ± 4 , 67 ± 4 and 65 ± 5 , respectively. Other study⁽¹⁴⁾ that evaluated fertility in Angus, Brahman and Charolais cows and crosses among these breeds showed pregnancy rates averages of 92.9 % for F1 cows and 93.0 % for crosses among the three breeds, while purebred cows had a pregnancy rate of 85.8 %. In a comparison of reproductive traits between F1 cows⁽¹⁵⁾, the highest pregnancy rates were found in *Bos indicus* x *Bos taurus* cows (91.0 % Indobrasil x Hereford; 93.8 % Red Brahman x Hereford; 96.0 % Gyr x Hereford; 96.4 % Grey Brahman x Hereford; 97.0 % Nellore x Hereford) while Angus x Hereford cows had a pregnancy rate of 87.4 %. In contrast with previous results, a study of the reproductive performance of Angus dams bred to *Bos indicus* and *Bos taurus* sires showed pregnancy rates of 54.8 % when sires were Brahman, 66.7 % when sires were Senepol and 72.8 % when sires were Tuli⁽¹⁶⁾. In this same study, Angus dams bred to Brahman sires had lower reproductive efficiency than Angus dams bred to Senepol and Tuli sires. Low pregnancy rates have also been reported for Angus (65.7 %), Criollo (49.7 %) and F1 Criollo x Angus (65.1 %) cows, however, the same study showed a higher rate (80.0 %) for F1 Angus x Criollo cows⁽¹⁷⁾.

Unlike the ER and PR results, no significant differences ($P > 0.10$) were observed between G and CG for CR (Table 1). This lack of differences could be attributable to additional embryonic or fetal losses occurring in CG cows which contributed to diminish the previous advantage showed for this genotype over G cows. Results for CR suggest that G cows provide a less favorable maternal environment for embryo or fetus survival than C cows do. These results also suggest that GC cows have a less favorable maternal environment for calf survival than CG cows.

Several studies have reported the importance of using crossbred cows to improve calving rates of beef herds^(13,18,19). Data from a diallel crossing in a subtropical environment reported calving rates of 92 ± 2.4 % for Angus x Brahman and 90 ± 2.6 % for Charolais x Brahman cows, lower rates were

aunque las vacas F1 Angus x Criollo (80.0 %) si mostraron una tasa de gestación alta⁽¹⁷⁾.

Contrastando con los resultados de TE y TG, para TP no se detectaron diferencias ($P > 0.10$) entre G y CG (Cuadro 1). Lo anterior pudiera ser consecuencia de una pérdida embrionaria o fetal adicional en vacas CG, que contribuyó a disminuir la ventaja que para TE y TG mostró este genotipo sobre el genotipo G. Los resultados para TP sugieren que vacas G proveen un ambiente materno menos favorable para la sobrevivencia del embrión o del feto comparadas con vacas C. De igual manera, los resultados para TP sugieren un ambiente materno desfavorable de las vacas GC comparadas con las vacas CG, en cuanto a la sobrevivencia prenatal de sus crías.

Diversos estudios^(13,18,19) mencionan la importancia de utilizar hembras cruzadas *Bos indicus* x *Bos taurus* para mejorar los porcentajes de parición en la producción de becerros al destete. Así, con información obtenida en un cruzamiento dialélico en ambiente subtropical⁽¹⁸⁾ se estimaron porcentajes de parición de 92 ± 2.4 y 90 ± 2.6 % para vacas F1 Angus x Brahman y Charolais x Brahman, mientras que las vacas puras Angus, Brahman y Charolais mostraron tasas de parición de 75 ± 3.9 , 90 ± 3.8 y 80 ± 3.5 %. Otro estudio realizado en ambiente templado con ganado Criollo, Angus y sus cruzas recíprocas⁽¹⁷⁾, determinó tasas de parición de 86.5 ± 7.6 % para vacas Angus x Criollo y de 82.3 ± 4.8 % para vacas Criollo x Angus, mientras que los promedios para las vacas Angus y Criollas fueron de 83.1 ± 2.9 y 82.0 ± 4.3 %. Por otro lado, un experimento en el que se comparó el comportamiento reproductivo de vacas *Bos indicus* y F1 *Bos taurus* x *Bos indicus*⁽¹³⁾, estableció tasas de parición en vacas Indobrasil y Brahman de 56 ± 5 y 65 ± 4 %, similares a la tasa de parición de vacas Charolais x Cebú (67 ± 6 %) pero menores a las tasas de parición de vacas Angus x Cebú (80 ± 5 %), Hereford x Cebú (81 ± 5 %) y Suizo Pardo x Cebú (76 ± 6 %). Asimismo, datos generados en esquemas de cruzamiento rotacional⁽¹⁹⁾ muestran porcentajes de parición de 75.4 ± 8.5 y 75.9 ± 5.8 , para cruzas recíprocas Angus x Brahman, de 78.3 ± 6.2 y 71.1 ± 8.3 % para cruzas recíprocas

reported for purebred Angus (75 ± 3.9 %), Brahman (90 ± 3.8 %) and Charolais (80 ± 3.5 %)⁽¹⁸⁾. A study carried out in a temperate environment with Criollo, Angus and their reciprocal crosses reported calving rates of 86.5 ± 7.6 % for Angus x Criollo and 82.3 ± 4.8 % for Criollo x Angus while Angus and Criollo cows had rates of 83.1 ± 2.9 and 82.0 ± 4.3 %⁽¹⁷⁾. On the other hand, an experiment comparing the reproductive performance of *Bos indicus* and F1 *Bos taurus* x *Bos indicus* cows⁽¹³⁾, reported calving rates of 56 ± 5 and 65 ± 4 % for Indobrasil and Brahman similar to those of Charolais x Zebu (67 ± 6 %) while higher rates were reported for Angus x Zebu (80 ± 5 %), Hereford x Zebu (81 ± 5 %) and Swiss Brown x Zebu (76 ± 6 %) cows. Previous results are similar to those reported in a rotational crossbreeding experiment⁽¹⁹⁾ where calving rates were of 75.4 ± 8.5 and 75.9 ± 5.8 % for Angus x Brahman reciprocal crosses, 78.3 ± 6.2 and 71.1 ± 8.3 % for Charolais x Brahman reciprocal crosses, and 71.8 ± 5.8 and 74.5 ± 9.2 % for Hereford x Brahman reciprocal crosses, whereas Brahman cows had a calving rate of 63.1 ± 1.6 %.

Averages of WR for C, CG and GC cows (Table 1) were higher ($P \leq 0.10$) than those for G cows (14, 16 and 25 %, respectively). These results suggest less maternal ability of Zebu cows from calving to weaning and/or less survivability of their calves.

Results from cattle raised in tropical environments have pointed out the importance of using crossbred cows to increase the weaning rates of beef herds^(13,17,18). Thus, data collected from purebred and crossbred cows in a tropical environment showed higher weaning rates in Angus x Brahman (87 ± 2.7 %) and Charolais x Brahman (84 ± 2.9 %) cows than in purebred Angus (67 ± 4.4 %), Brahman (82 ± 4.4 %) and Charolais cows (75 ± 4.0 %)⁽¹⁸⁾. Likewise, Brahman (48 ± 5 %) and Indobrasil (56 ± 4 %) cows have been reported as having lower weaning rate averages than Charolais x Zebu (61 ± 6 %), Swiss Brown x Zebu (73 ± 6 %), Hereford x Zebu (73 ± 5 %) and Angus x Zebu cows (74 ± 5 %)⁽¹³⁾. Similarly, results from Criollo and Angus cattle and their reciprocal crosses indicated

Cuadro 1. Heterosis individual Criollo-Guzerat, diferencias entre efectos genéticos directos y genéticos maternos y medias de cuadrados mínimos y errores estándar para tasas reproductivas de diversos genotipos (%)

Table 1. Least squares means and standard errors for reproductive rates of four genotypes, individual heterosis and differences of direct and maternal genetic effects between Guzerat and Criollo breeds (%)

Cow Genotype	Estrous	Pregnancy	Calving	Weaning
Guzerat	49±13 ^a	46±12 ^a	42±14 ^a	38±14 ^a
Guzerat x Criollo	82±17 ^b	72±16 ^b	71±15 ^b	63±21 ^b
Criollo x Guzerat	75±10 ^b	64±11 ^b	56±12 ^{ac}	54±13 ^b
Criollo	69±09 ^b	60±09 ^b	59±10 ^{bc}	52±10 ^b
Individual heterosis	20*	15*	13*	13*
Guzerat-Criollo				
Direct effects	-14 ^{ns}	-6 ^{ns}	-2 ^{ns}	-5 ^{ns}
Maternal effects	-6 ^{ns}	-7 ^{ns}	-15 ^{**}	-9 ^{ns}

^{abc} Different letter superscripts in the same column indicate significant difference ($P \leq 0.10$).

* ($P < 0.10$); ** ($P \leq 0.10$); ^{ns} Non significant.

Charolais x Brahman y de 71.8 ± 5.8 y 74.5 ± 9.2 % para cruza recíprocas Hereford x Brahman, mientras que las vacas Brahman tuvieron tasas de parición de 63.1 ± 1.6 %.

En relación a TD las vacas C, CG y GC (Cuadro 1) tuvieron promedios superiores ($P \leq 0.10$) a los promedios de las vacas G, en 14, 16 y 25 %. Estos resultados sugieren una menor habilidad materna de las vacas Cebú durante el periodo nacimiento-destete, una menor sobrevivencia de sus crías durante el mismo periodo, o la combinación de ambos eventos.

Otros autores^(13,17,18) han señalado la importancia del uso de vacas cruzadas como una alternativa, en ambientes tropicales, para incrementar las tasas de destete en bovinos productores de carne. Así, datos obtenidos con vacas puras y cruzadas mantenidas en ambiente subtropical⁽¹⁸⁾ mostraron tasas de destete superiores para vacas Angus x Brahman y Charolais x Brahman con 87 ± 2.7 y 84 ± 2.9 %, mientras que los porcentajes correspondientes a las razas puras fueron de 67 ± 4.4 % (Angus), 82 ± 4.4 % (Brahman) y 75 ± 4.0 % (Charolais). De igual manera, vacas Brahman e Indobrasil⁽¹³⁾ tuvieron promedios para tasa de destete menores

weaning rates of 83.3 ± 8.2 % for Angus x Criollo and 79.5 ± 5.2 % for Criollo x Angus cows with lower averages for purebred Angus (74.7 ± 3.2) and Criollo cows (77.9 ± 4.6 %)⁽¹⁷⁾.

In agreement with the present study, results from literature for pregnancy, calving and weaning rates indicate that *Bos indicus* x *Bos taurus* females have a good reproductive efficiency in tropical conditions. Thus, it is important to consider the use of GC and CG cows as a strategy to improve the reproductive efficiency of the cow-calf system in the tropical region of Nayarit. In addition, averages presented in Table 1 suggest better reproductive performance in GC cows than CG cows, though only CR was statistically different ($P < 0.10$) between them.

b) Individual heterosis

Individual heterosis had a positive ($P < 0.10$) influence on all variables (Table 1). This result agrees with previous studies stating the favorable effect of heterosis on the reproductive performance of *Bos taurus* x *Bos indicus* and *Bos taurus* x *Bos taurus* cows^(14,18,20). In a study of reproductive performance of *Bos indicus* x *Bos taurus* cows in a rotational crossbreeding system which included

(48 ± 5 y 56 ± 4 %) a los promedios de vacas F1 Charolais x Cebú, Suizo Pardo x Cebú, Hereford x Cebú y Angus x Cebú (con 61 ± 6 , 73 ± 6 , 73 ± 5 y 74 ± 5 %). Coincidiendo con lo anterior otro estudio realizado con ganado Criollo, Angus y sus cruza recíprocas⁽¹⁷⁾, menciona tasas de destete para vacas Angus x Criollo y vacas Criollo x Angus (83.3 ± 8.2 y 79.5 ± 5.2 %), mientras que los promedios para vacas Angus y Criollas fueron de 74.7 ± 3.2 y 77.9 ± 4.6 .

La información revisada sobre tasas de gestación, parición y destete indican que, en condiciones tropicales, las hembras cruzadas *Bos indicus* x *Bos taurus* presentan una buena eficiencia reproductiva, lo cual coincide con los resultados del presente estudio. Por lo tanto, es importante considerar el uso de vacas GC y CG como una de las estrategias para mejorar la eficiencia reproductiva del sistema vaca-cría en la región tropical de Nayarit. Cabe también resaltar que los promedios del Cuadro 1 para las diferentes variables sugieren un mejor comportamiento reproductivo de las vacas GC comparadas con las vacas CG, aunque sólo se detectó diferencia estadística ($P < 0.10$) entre las cruza para TP.

b) Heterosis individual

En el Cuadro 1 se muestran los estimadores de heterosis individual para las características estudiadas, observándose que ésta influyó ($P < 0.10$) de manera favorable sobre todas las variables. Coincidiendo con estos resultados, diversos autores^(14,18,20), mencionan la influencia favorable que, en general, la heterosis individual tiene sobre el comportamiento reproductivo de vacas cruzadas *Bos taurus* x *Bos indicus* y *Bos taurus* x *Bos taurus*. En relación al comportamiento reproductivo de vacas cruzadas *Bos indicus* x *Bos taurus*, en un estudio en el que se analizó el comportamiento reproductivo de vacas cruzadas Angus, Brahman y Charolais en cruzamiento rotacional⁽¹⁴⁾, se estimaron valores de heterosis para tasas de gestación de 7.1 ± 4.0 , 3.0 ± 3.6 , 6.3 ± 3.2 y 7.2 ± 3.6 % para vacas F1, F2, $\frac{3}{4}$ y cruzadas de las tres razas, concluyendo los autores que la heterosis mostró ser mayor en las cruza que

Angus, Brahman and Charolais breeds, the authors reported heterosis estimates for calving rate of 7.1 ± 4.0 , 3.0 ± 3.6 , 6.3 ± 3.2 and 7.2 ± 3.6 % for F1, F2, backcrosses and three breed crosses, respectively⁽¹⁴⁾, concluding that heterosis was greater in crosses involving the Brahman breed. Another study found a calving rate of 6.4 % and a weaning rate of 11.0 % for Angus x Brahman cows and corresponding values of 4.7 and 4.0 % for Charolais x Brahman cows⁽¹⁸⁾. Similar results were reported in a rotational crossbreeding system of Angus, Brahman, Charolais and Hereford cattle with an average individual heterosis for calving rate and weaning rate of 5.8 ± 6.6 and 4.8 ± 7.3 % for Angus x Brahman cows, 3.9 ± 6.7 and -1.0 ± 7.4 % for Charolais x Brahman cows, and 3.1 ± 7.1 and 1.6 ± 7.8 % for Hereford x Brahman cows⁽¹⁹⁾. In general, the above heterosis values are lower than those observed in the present study.

Other studies have evaluated the effect of heterosis in populations involving *Bos taurus* x *Bos Taurus* cows. In contrast with this study, an analysis using data from a rotational crossbreeding scheme showed values near or below zero for calving and weaning rates with estimates of -0.7 ± 7.2 and 2.0 ± 7.9 % for Angus x Charolais, 1.8 ± 6.5 and -0.3 ± 7.2 % for Angus x Hereford, and -9.0 ± 7.5 and -8.5 ± 8.3 % for Charolais x Hereford cows⁽¹⁹⁾. Higher heterosis values were found in a study evaluating the reproductive performance of three synthetic populations composed by different proportions of *Bos taurus* breeds⁽²⁰⁾ with heterosis percentages ($P < 0.05$) for pregnancy, calving and weaning rates of 7.5, 3.6 and 5.5 %; 7.9, 4.0 and 4.2 % and 7.8, 5.0 and 6.2 % for MARC I, MARC II and MARC III populations. Similar values have been reported from a diallel crossbreeding scheme with Angus and Criollo breeds in a temperate environment, with individual heterosis estimates ($P < 0.05$) of 8.3 ± 3.8 % for pregnancy rate, 9.3 ± 4.1 % for calving rate and 10.1 ± 4.1 % for weaning rate⁽¹⁷⁾.

In general, results from literature indicate the favorable effects that individual heterosis has on

incluyeron a la raza Brahman. Otro estudio en el que se evaluaron vacas F1 Angus x Brahman y Charolais x Brahman, se encontraron valores de 6.4 y 4.7 % para tasas de parición y 11.0 y 4.0 % para tasas de destete, en los genotipos mencionados⁽¹⁸⁾. De igual manera, información generada con ganado Angus, Brahman, Charolais y Hereford en un esquema de cruzamiento rotacional⁽¹⁹⁾ estableció promedios de heterosis individual para tasas de parición y destete de 5.8 ± 6.6 y 4.8 ± 7.3 % para vacas Angus x Brahman; de 3.9 ± 6.7 y -1.0 ± 7.4 % para vacas Charolais x Brahman y de 3.1 ± 7.1 y 1.6 ± 7.8 para vacas Hereford x Brahman. En general, los valores de heterosis mencionados previamente son menores a los del presente trabajo.

Asimismo, existen resultados sobre el efecto de la heterosis en poblaciones que incluyen vacas cruzadas *Bos taurus* x *Bos taurus*. Contrastando con los resultados del presente estudio, un análisis realizado con información de vacas participando en un esquema de cruzamiento rotacional⁽¹⁹⁾ estimó tasas de parto y de destete negativas o cercanas a cero con valores de -0.7 ± 7.2 , 1.8 ± 6.5 y -9 ± 7.5 % para tasas de parto y de -2.0 ± 7.9 , -0.3 ± 7.2 y -8.5 ± 8.3 % para tasas de destete en vacas Angus x Charolais, Angus x Hereford y Charolais x Hereford. Valores más altos de heterosis fueron estimados en un análisis en el que se evaluó el efecto que ésta tuvo sobre el comportamiento reproductivo de tres razas sintéticas compuestas por diferentes proporciones de razas *Bos taurus* continentales⁽²⁰⁾, encontrándose porcentajes importantes de heterosis ($P < 0.05$) para tasas de gestación, parición y destete, con valores de 7.5, 7.9 y 7.8 %, 3.6, 4.0 y 5.0 % y 5.5, 4.2 y 6.2 % para las razas MARC I, MARC II y MARC III. De igual manera, resultados generados en un esquema de cruzamiento dialélico con las razas Angus y Criollo mantenidas en un ambiente templado⁽¹⁷⁾, mostraron estimadores de heterosis individual de 8.3 ± 3.8 , 9.3 ± 4.1 y 10.1 ± 4.1 % ($P < 0.05$) para tasas de gestación, parición y destete.

En general, la información revisada sobre la influencia que la heterosis individual tiene sobre las tasas de gestación, parición y destete de hembras

pregnancy, calving and weaning rates of crossbred cows. As a consequence, higher percentages of calves are weaned by crossbred cows than for purebred *Bos indicus* or *Bos taurus* cows.

c) Direct genetic effects

Non significant differences were detected between direct genetic effects of Criollo and Guzerat in any of the variables (Table 1). Other studies^(17,18,19) have reported similar results. Thus, an analysis to estimate direct genetic effects of Criollo and Angus cattle did not find significant differences for calving rate (4.3 ± 4.7 %) or weaning rate (4.9 ± 4.7 %), though differences were important ($P < 0.05$) for pregnancy rate (8.5 ± 4.4 %)⁽¹⁷⁾. Another study reporting direct genetic effects in different cattle breeds indicated non significant ($P > 0.05$) direct genetic effects for calving or weaning rates of Hereford (7.1 ± 3.6 and 7.0 ± 4.0 %), Angus (3.6 ± 3.7 and 5.9 ± 4.0 %) or Charolais (-1.2 ± 3.6 and -1.1 ± 4.0 %) cows, although Brahman dams (-9.5 ± 4.0 and -11.8 ± 4.4 %) showed differences ($P < 0.05$) compared to those breeds⁽¹⁹⁾. In agreement with previous results, an evaluation of reproductive performance of Angus, Brahman and Charolais cows reported non significant ($P > 0.05$) differences among direct genetic effects for calving and weaning rates: -2.4 ± 2.3 and -1.0 ± 2.7 % for Angus; 3.5 ± 2.3 and 3.2 ± 2.0 % for Brahman, and -1.1 ± 2.3 and -2.2 ± 2.7 % for Charolais⁽¹⁸⁾. In contrast, results from a study comparing Angus, Brahman and Charolais cows indicated that direct genetic effects of Angus cows increased significantly ($P < 0.05$) their pregnancy rate in addition of diminishing the mature weight⁽¹⁴⁾.

d) Maternal genetic effects

Differences between maternal genetic effects were small or negligible ($P > 0.10$) for ER, PR and WR (Table 1). Differences were only detected to be favorable ($P \leq 0.10$) to Criollo cows in 15 % for CR. Overall, differences in maternal genetic effects from Table 1 suggest a tendency of Criollo dams to be better than Guzerat.

Results from other experiments have also reported

cruzadas indica efectos favorables de ésta sobre las características reproductivas. Lo anterior se manifiesta en un mayor porcentaje de crías destetadas por hembras cruzadas comparado con el porcentaje de crías destetadas por hembras puras *Bos indicus* o *Bos taurus*.

c) Efectos genéticos directos

No se detectaron diferencias importantes ($P > 0.10$) entre los efectos genéticos directos de Criollo y Guzerat para ninguna de las variables analizadas. Diversos autores^(17,18,19) han publicado resultados similares a los del presente estudio. Así, un análisis en el que se estimaron diferencias entre los efectos genéticos directos de ganado Criollo y Angus⁽¹⁷⁾ no se detectaron diferencias importantes para tasa de parto (4.3 ± 4.7 %) o tasa de destete (4.9 ± 4.7 %), aunque estas diferencias si fueron importantes ($P < 0.05$) para tasa de gestación (8.5 ± 4.4 %). De igual manera, otro estudio en el cual se midieron los efectos genéticos directos en varias razas bovinas⁽¹⁹⁾ se estableció que éstos no fueron importantes ($P > 0.05$) para porcentajes de parición o de destete de vacas Hereford (7.1 ± 3.6 y 7.0 ± 4.0 %), Angus (3.6 ± 3.7 y 5.9 ± 4.0 %) o Charolais (-1.2 ± 3.6 y -1.1 ± 4.0 %), aunque si lo fueron ($P < 0.05$) para vacas Brahman (-9.5 ± 4.0 y -11.8 ± 4.4). Coincidiendo con los resultados anteriores, un experimento en el que se evaluó el comportamiento reproductivo de vacas Angus, Brahman y Charolais⁽¹⁸⁾ encontró que los efectos genéticos directos no fueron importantes ($P > 0.05$) para las tasas de parición y destete, con valores de -2.4 ± 2.3 , 3.5 ± 2.3 y -1.1 ± 2.3 % y de -1.0 ± 2.7 , 3.2 ± 2.0 y -2.2 ± 2.7 %. En contraposición con estos resultados, un estudio en el que se compararon las razas Angus, Brahman y Charolais⁽¹⁴⁾ determinó que los efectos genéticos directos de Angus incrementaban de manera significativa ($P < 0.05$) la tasa de preñez, además de reducir el peso adulto de las vacas.

d) Efectos genéticos maternos

Con respecto a las diferencias entre efectos genéticos maternos, los valores que se muestran en el Cuadro 1 señalan que estas diferencias fueron pequeñas y

negligible differences among genetic maternal effects for reproductive traits in beef cattle. Thus, in a diallel crossing between Criollo and Angus, maternal genetic effects were not significant ($P > 0.05$) for pregnancy rate (9.6 ± 6.2 %), calving rate (10.8 ± 6.5 %) and weaning rate (10.8 ± 6.6 %)⁽¹⁷⁾. Similarly, in a rotational crossbreeding system with Angus, Brahman, Charolais and Hereford, non significant differences ($P > 0.05$) were observed for calving and weaning rates between Brahman maternal genetic effects (1.7 %) and the average maternal genetic effects (1.9 %) of Angus, Charolais and Hereford; between Charolais maternal genetic effects (-8.2 %) and the average maternal genetic effects (-8.4 %) of Angus and Hereford, and between Angus maternal genetic effects (3.2 %) and Hereford maternal genetic effects (4.7 %). Previous results agree with a study⁽¹⁸⁾ that reported negligible differences ($P > 0.05$) among maternal genetic effects for calving rate with percentages of 1.5 ± 1.7 , -0.1 ± 1.7 and -1.4 ± 1.7 , and percentages for weaning rate of -0.6 ± 1.8 , -0.3 ± 1.8 and 0.9 ± 1.8 for Angus, Brahman and Charolais dams, respectively.

In general and according to estimates from this study and literature results, differences in direct and maternal genetic effects among breeds seems not to be an important issue for reproductive traits of beef cattle.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

Among the four genotypes, Guzerat x Criollo and Criollo x Guzerat cows seem to be viable options to produce beef calves in the tropical region of Nayarit, Mexico. The Guzerat x Criollo cows tended to have better reproductive performance than Criollo x Guzerat cows. Individual heterosis influenced favorably all variables. Differences in direct genetic effects were not relevant. A tendency in Criollo cows to have favorable differences for maternal genetic effects was suggested by maternal genetic effects on calving rate.

End of english version

poco importantes ($P>0.10$) para TE, TG y TD. Sin embargo, el análisis si detectó diferencias ($P\leq 0.10$) entre efectos maternos para TP a favor, en un 15 %, de las vacas Criollas. En general, las diferencias entre efectos genéticos maternos que se muestran en el Cuadro 1 sugieren un mejor comportamiento reproductivo del ganado Criollo comparado con el ganado Guzerat.

Diversos resultados han sido publicados sobre la escasa relevancia de los efectos genéticos maternos para determinar el comportamiento reproductivo en bovinos productores de carne. Así, en un cruzamiento dialélico realizado con ganado Criollo y Angus⁽¹⁷⁾ los autores mencionan diferencias entre efectos genéticos maternos poco importantes ($P>0.05$) para tasas de gestación (9.6 ± 6.2 %), parición (10.8 ± 6.5 %) y destete (10.8 ± 6.6 %). De igual manera, en un cruzamiento rotacional⁽¹⁹⁾ que incluyó a las razas Angus, Brahman, Charolais y Hereford se compararon, para tasas de parición y destete, los efectos genéticos maternos de Brahman contra el promedio de los efectos genéticos maternos de Angus, Charolais y Hereford (1.7 y 1.9 %), los efectos genéticos maternos de Charolais contra el promedio de los efectos genéticos maternos de Angus y Hereford (-8.2 y -8.4 %) y los efectos genéticos maternos de Angus contra los efectos genéticos maternos de Hereford (3.2 y 4.7 %). En ninguna de las comparaciones mencionadas se detectó que éstas fueran estadísticamente importantes ($P>0.05$). Coincidiendo con los resultados anteriores, un experimento en el que se evaluó el comportamiento reproductivo de vacas Angus, Brahman y Charolais⁽¹⁸⁾ encontró que los efectos genéticos maternos no fueron importantes ($P>0.05$) para la tasa de parición (1.5 ± 1.7 , -0.1 ± 1.7 y -1.4 ± 1.7) o la tasa de destete (-0.6 ± 1.8 , -0.3 ± 1.8 y 0.9 ± 1.8).

En general y de acuerdo con los estimadores para los efectos genéticos directos y maternos del presente análisis, y a los estimadores revisados en la literatura para tasas de gestación, parición y destete, los efectos genéticos directos y maternos parecen no afectar de manera importante el comportamiento reproductivo de los bovinos productores de carne.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Entre los genotipos evaluados, las vacas Guzerat x Criollo y Criollo x Guzerat parecen ser opciones viables a considerar en la producción de becerros al destete en la región tropical de Nayarit. Entre las cruzas recíprocas, las vacas Guzerat x Criollo tendieron a mostrar mejor comportamiento reproductivo que las vacas Criollo x Guzerat. La heterosis individual influyó favorablemente sobre todas las características estudiadas. Los efectos genéticos directos y maternos no influyeron de manera relevante sobre las características analizadas. La tendencia observada en los efectos genéticos maternos, que incluyó una ventaja de 15 % en la tasa de parición de vacas Criollas, sugieren diferencias favorables para este tipo de vacas.

LITERATURA CITADA

- Dickerson GE. Efficiency of animal production-molding the biological components. *J Anim Sci* 1970;(30):849-859.
- Melton BE. Conception to consumption: The economics of genetic improvement. In: Proc. Beef Improvement Federation 27TH Research Symposium and annual meeting, Sheridan, Wyoming. 1995:40-71.
- Koots KR, Gibson JP, Smith C, Wilton JW. Analysis of published genetic parameter estimates for beef production traits. 1. Heritability. *Anim Breed Abstr* 1994;(62):309-338.
- Koger M. Effective crossbreeding systems utilizing Zebu cattle. *J Anim Sci* 1980;(50):1215-1221.
- Cundiff LV. Experimental results on crossbreeding cattle for beef production. *J Anim Sci* 1970;(30):694-702.
- Franke DE. Breed and heterosis effects of American Zebu cattle. *J Anim Sci* 1980;(50):1206-1211.
- BIF. Beef Improvement Federation. Guidelines for uniform beef improvement programs. 8th ed. University of Georgia, Georgia. 2002.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. Síntesis Geográfica de Nayarit. México. 1981.
- SAS. SAS User's Guide: Statistics; SAS Inst. Inc., Cary, NC. USA. 2001.
- Nelder JA, Wedderburn RWM. Generalized linear models. *J Royal Statist Soc* 1972;(135):370-384.
- Dickerson GE. Experimental approaches in utilizing breed resources. *Anim Breed Abstr* 1969;(37):191.
- Dickerson GE. Inbreeding and heterosis in animals. Proc. Animal breeding and Genetics Symp. In honor of Dr. J. L. Lush. Am Soc Anim Sci Champaign, Illinois, USA. 1973;54.
- Ríos UA, Vega MV, Montañón BM, Lagunes LJ, Rosete FJ. Comportamiento reproductivo de vacas Brahman, Indobrasil y cruza F1 Angus, Charolais, Hereford y Suizo Pardo x cebu y peso al destete de sus crías. *Tec Pecu Mex* 1996;(34):20-28.

14. Olson TA, Peacock FM, Koger M. Reproductive and maternal performance of rotational, three-breed, and inter se crossbred cows in Florida. *J Anim Sci* 1993;(71):2322-2329.
15. Riley DG, Sanders JO, Knutson RE, Lunt DK. Comparison of F1 *Bos Indicus* x Hereford cows in central Texas: I. Reproductive, maternal, and size traits. *J Anim Sci* 2001;(79):1431-1438.
16. Holloway JW, Warrington BG, Forrest DW, Randel RD. Preweaning growth of F1 tropically adapted beef cattle breeds x Angus and reproductive performance of their Angus dams in arid rangeland. *J Anim Sci* 2002;(80):911-918.
17. Corva PM, Villarreal EL, Mezzadra CA, Melucci LM. Reproductive traits of Angus, Criollo and reciprocal crossbred females in the temperate area of Argentina. *J Anim Sci* 1995;(61):241-249.
18. Peacock FM, Koger M. Reproductive performance of Angus, Brahman, Charolais and crossbred dams. *J Anim Sci* 1980;(50):689.
19. Williams AR, Franke DE, Saxton AM. Genetic effects for reproductive traits in beef cattle and predicted performance. *J Anim Sci* 1991;(69):531-542.
20. Gregory KE, Cundiff LV, Koch RM. Breed effects and heterosis in advanced generations of composite populations for reproduction and maternal traits of beef cattle. *J Anim Sci* 1992;(70):656-672.