

Eventos reproductivos de vacas con diferente porcentaje de genes *Bos taurus* en el trópico mexicano

Effects of *Bos taurus* gene percentage on reproductive performance of crossbred cows in the humid tropics of Mexico

Rufino López Ordaz^a, Mario Díaz Hernández^a, José Guadalupe García Muñiz^a, Rafael Núñez Domínguez^a, Reyes López Ordaz^b, Pedro Arturo Martínez Hernández^a

RESUMEN

El objetivo fue determinar el porcentaje óptimo de genes *Bos taurus* (BT) para edad al primer parto (EPP), días al primer servicio (DPS), días abiertos (DA) e intervalo entre partos (IEP) de vacas cruzadas. La información analizada se originó de 1,704 lactancias completas de 677 vacas desde 100 % *Bos indicus* (BI) hasta 100 % BT de un rancho lechero típico mexicano de Tabasco. El análisis fue con un modelo mixto que incluyó los efectos fijos de número de parto de la vaca, el año de parto y la estación de parto de la misma, los efectos aleatorios de semental, vaca anidada en semental, y el efecto racial lineal de porcentaje de genes BT como covariable. Las vacas de cuarto parto tuvieron DPS más cortos que las de segundo y tercero; éstas a su vez fueron diferentes a las de primero. Paralelamente, los animales de segundo ó más partos presentaron DA e IEP más cortos ($P < 0.05$) que las de primero. La EPP fue mínima (31 meses) con 49 % de genes BT; después de dicha proporción el mismo parámetro incrementó hasta 36 meses. Las vacas con 100 % de genes BI presentaron DPS (106 d), DA (166 d) e IEP (14.6 meses) inferiores que las demás cruzadas con BT. En conclusión, las vacas con 50 % de genes BT alcanzan la EPP más temprano y tienen DPS, DA e IEP más prolongados; por lo tanto, dichas vacas representan los genotipos óptimos para la región tropical húmeda.

PALABRAS CLAVE: Cruzamiento, Ganado bovino tropical, Reproducción.

ABSTRACT

The objective of the present study was to determine the best possible percentage of *Bos taurus* (BT) genes on age-at-first-calving (AFC), days to first post-partum service (DFPS), days open (DO) and calving interval (CI) in crossbred cows. Data was collected in a typical commercial dairy farm of Tabasco on 1,704 full lactations (270-d) from 677 cows ranging between 100 % *Bos taurus* (BT) and 100 % *Bos indicus* (BI). Data analysis was carried out through a mixed model which included the following unchanging effects: calving number, calving year and season and the random effects of sire, cow within sire, with BT gene percentage effect as covariable. Fourth calving cows showed a lower DFPS ($P < 0.05$) than second and third calving animals and these were different to primiparous. Correspondingly, second or more calving cows showed shorter DO and CI ($P < 0.05$) than first calving cows. AFC was shortest in 49 % BT genes, increasing to 36 mo as this percentage increased. Cows having 100 % BI genes showed 106 d DFPS, 166 d DO and 14.6 mo CI, all of them shorter than in crossbred cows. As a conclusion, it can be stated that cows having 50 % BT genes show longer DFPS, DO and CI and shorter AFC, therefore being the best genotype for dairy herds in the humid tropics.

KEYWORDS: Crossbreeding, Tropical bovines, Reproductive performance.

INTRODUCCIÓN

La producción de leche en los ambientes tropicales se fundamenta en la capacidad reproductiva de los

INTRODUCTION

Milk production in the tropics is based mainly on the reproductive performance of crossbred cattle

Recibido el 4 de enero de 2010. Aceptado para su publicación el 2 de julio de 2010.

^a Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México Texcoco. 56230. Chapingo, México. Tel: 01 595 95 21621. rlopezor@yahoo.com. Correspondencia al primer autor.

^b Departamento de Genética y Estadística. FMVZ, UNAM.

* Este estudio es parte de la Tesis de Maestría en Ciencias del segundo autor.

bovinos cruzados. Dichos animales (*Bos taurus* X *Bos indicus*) producen más leche, carne y son superiores para reproducirse comparados con sus razas parentales puras en los ambientes tropicales^(1,2). Sin embargo, la existencia de distintos tipos de trópicos y la diversidad genética de los bovinos locales dificultan la aplicación de los sistemas de cruzamientos.

Los problemas más evidentes se relacionan con el mantenimiento de los bovinos F1 (BT X BI), el mantenimiento de las razas parentales puras y la sostenibilidad del equilibrio de la proporción de genes apropiada a las condiciones del ambiente específico. Otros problemas se relacionan con la expresión de los genes; en algunos ambientes tropicales, los bovinos F1 (BT X BI) exhiben edades al primer parto más temprano, días abiertos e intervalo entre partos más reducidos y menos producción de leche que las vacas con 75 % de genes BT⁽³⁾; dicho comportamiento no es similar para las vacas del mismo origen de cruzamientos y en ambientes más húmedos. Lo anterior implica la necesidad de generar información de cruzamientos que sincronicen la habilidad de la vaca para producir leche, con comportamientos reproductivos eficientes, y el ambiente apropiado para aprovechar la heterosis del apareamiento de BT X BI.

Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar la proporción óptima de genes de *Bos taurus* (BT) en edad al primer parto (EPP), días al primer servicio posparto (DSP), días abiertos (DA) e intervalo entre partos (IEP) de vacas cruzadas con distintas proporciones de *Bos indicus* (BI) en un rancho lechero típico del trópico mexicano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó con información de enero de 1991 a diciembre de 2004 con 1,704 lactancias de 270 días de 677 vacas *Bos taurus* (BT) x *Bos indicus* (BI). En dichos animales, la proporción de genes BI fue variable desde 0 hasta 100 % puros; por ejemplo, las vacas con proporciones de 1/8, 1/4, 1/2, 3/8 y 3/4 de genes BT fueron considerados como los términos relativos de 12.5,

(*Bos taurus***Bos indicus*). These animals produce more milk and beef and reproduce themselves more easily in this climate than either of their parental breeds^(1,2). However, different tropical conditions added to genetic diversity of local cattle make use of crossbreeding systems more complicated.

The most evident problems are related to preserving F1 (BT*BI) animals, pure parental breeds and the sustainability of an adequate gene proportion in specific environments. Other problems are associated to gene expression in some tropical environments, as F1 animals (BT*BI) show lower age at first calving (AFC), and shorter days open (DO) and calving interval (CI) and lower milk yield than cows with 75 % BT⁽³⁾. That behavior is not consistent for cows of the same gene combination in more humid conditions. This shows a need to create data which synchronize milk production capacity, efficient reproductive performance and the adequate environment for a better use of heterosis arising from BT*BI crosses.

Based on the above, the objective of the present study was to determine the best *Bos taurus* (BT) gene percentage for AFC, days to first postpartum estros DFPS, DO and CI of (BT*BI) crossbred cows in a typical dairy farm of the Mexican humid tropics.

MATERIALS AND METHODS

The present study was carried out using data collected between January 1991 and December 2004 on 1,704 (270-d) lactations of 677 BT*BI crossbred cows presenting variable BI gene content, ranging from 0 to 100 %. For example, cows with 1/8, 1/4, 1/2, 3/8 and 3/4 BT gene content were considered as 12.5, 25.0, 37.5, 50.0, 62.5, 75.0 and 87.5 % BT. Overall, more than six racial groups were obtained, as cows with 25.0, 50.0 and 75.0 % BI genes portray 268, 326 and 306 lactations for each group, while those with 12.5, 62.5 and 87.5 % BI genes depict 270, 267 and 269 complete lactations, respectively.

For example, 1/4BT 3/4BI genotypes are the result of crossing pure BI with 1/2BI 1/2BT animals, and

25, 50, 62.5, y 75 % de genes BT. En general se tuvieron más de seis grupos raciales; por ejemplo, las vacas de 25, 50 y 75 % de genes BI representaron 268, 326 y 306 lactancias para cada grupo, mientras que las de 12.5, 62.5 y 87.5 de genes BI tuvieron 270, 267 y 269 lactancias completas, respectivamente.

Los genotipos 1/4BT 3/4BI provienen del apareamiento de la raza pura con 1/2BT 1/2BI, mientras que 5/8BT 3/8BI se obtuvieron del apareamiento de la raza pura con 3/4BT 1/4BI. Los genotipos 1/2BT 1/2BI se originaron del apareamiento de las razas puras BT y BI; mientras que los 5/8BT 3/8BI provienen del apareamiento entre 1/2BT 1/2BI con 3/4BT 1/4BI. Los genotipos con genes de cebú fueron Gyr (promedio, 80 %), y Brahman e Indobrasil (20 %); mientras que los genes europeos provienen de Holstein (promedio, 60 %), Simmental (20 %), y el restante Suizo Pardo y Jersey.

La información estudiada se obtuvo de un rancho comercial de Centro, Tabasco. El municipio se localiza a 18°20' N y 93° 15' O. García⁽⁴⁾ clasificó el clima de la zona como Am(f)w'(i')g, que corresponde a cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano. La temperatura media anual de 33.6 °C, y precipitación promedio de 2,237 mm anuales. El mes más cálido es mayo y el más fresco es enero.

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* (grama amarga) y *Cynodon spp* (bermuda). Las vacas en lactancia recibieron forraje y 1.0 kg de concentrado comercial (16.0% PC) durante el ordeño de la mañana y 1.0 kg durante la tarde.

El sistema de ordeño fue mecánico en una sala en paralelo con 16 plazas y pesadores individuales del tipo Waikato™. Las vacas ingresaban a la línea de ordeño dos días después del parto. El ordeño se realizó dos veces al día (0500 y 1330) sin la presencia del ternero y con la ayuda de 0.25 ml de oxitocina (Oxipar). El nivel de producción de 2.0

5/8BT 3/8BI animals are obtained by crossing 1/2BI 1/2BT with 1/4BI 3/4BT animals. BI genes came from the Gyr (80 % on average), Brahman and Indubrasil breeds, while those of European origin (BT) came from the Holstein (60 % on average), Simmental (20 %) and the remaining 20 % from either Brown Swiss or Jersey breeds.

Data were obtained in a commercial dairy farm located at Centro, Tabasco, Mexico (18° 20' N, 93° 15' W). O. García⁽⁴⁾ grades the climate for this area as Am(f)w'(i')g, warm humid with plentiful summer rainfall. Recorded annual mean temperature for this area is 33.6 °C and average annual rainfall 2,237 mm, being the warmest month May, and January the coldest.

Animal feeding at this farm is based on rotational grazing of tropical grasses, with a daily change of electrically fenced grazing plots. Forage species include *Paspalum spp.* (bahiagrasses), *Homolepsis spp.* and *Cynodon spp.* (bermuda grasses). Lactating cows were fed also a ration of 1.0 kg of commercial concentrate (16 % CP) at both the morning and afternoon milking sessions.

Milking was carried out with milking machines in an 8 a-side herringbone Waikato® type parlor, provided with individual milk meters. Cows entered the milking line 2 d post-partum and the herd was milked twice daily (0500 and 1330) without the presence of calves and medicated with 0.25 ml oxytocin (Oxipar). A daily milk production between 2.0 and 5.0 L was the main criterion for drying cows.

Reproductive herd management was carried out in two controlled breeding seasons, the first in March and April and the second in June, 57 % with artificial insemination and 43 % sired by bulls. As a specific goal of the producer, animals with 67.5 % of BI genes are sought, and therefore, based on the BI content of the mother, the corresponding sire is chosen.

Data editing followed several criteria. Records of animals with lactations below 270 d were stricken out, the same as of cows whose first lactation was not recorded or of animals without data on the lactation number. Also, records of cows with non

y 5.0 kg de leche por día fue el criterio principal del secado de las vacas.

El manejo reproductivo del ható consistió de dos empadres controlados, con el uso de inseminación artificial (57 %) y monta natural (43 %). El primer empadre se realiza entre marzo y abril, y el segundo, en junio. Como un objetivo particular del rancho, el productor desea tener animales de aproximadamente el 62.5 % de genes BT; debido a esto, con base en la proporción de genes BT de la madre, se asigna un semental que reúna dichas proporciones.

En la edición de los datos se siguieron varios criterios; se eliminaron los registros de animales con lactancias menores a 270 días, animales que no tuvieron información de una primera lactancia, o que carecían de información del número de lactancias a la que pertenecía cada registro. También se eliminaron las vacas con registros de códigos no utilizables (lactancias con abortos, muerte, venta enfermedades o traumatismos); vacas con menos de 18 meses de edad al primer parto, vacas con errores en los registros (fechas equivocadas de nacimiento, parto o inicio de la lactancia) y registros de IEP fuera del rango de 300 y 730 días.

Con base en las restricciones anteriores, la información estudiada permitió analizar 1,570,

usable codes (lactations with abortions, death, diseases, traumatismos or sold), as well as of cows of less than 18 mo of age at first calving and of cows whose records presented errors (wrong birth, calving and beginning of lactation dates) and with CI out of range, less than 300 or more than 730 d.

Based on these constraints, 1,570, 1,704, 1,297 and 1,546 individual records for AFC, DFPS, DO and CI, respectively, were analyzed. Data on the number of lactations was grouped into four categories, including animals between 1 and 10 lactations. The 1993 category includes data between 1991 and 1993, the 1997 category includes data from 1994 to 1997, and the 2001 category includes data from 1998 to 2001 and the 2004 category, from 2002 to 2004. AFC data was grouped also in four categories, containing information on first calving which took place on the same periods described before. Equally, data for DO and CI were arranged in two categories in accordance with year of calving, 1997 and 2004. The first, 1997, includes calvings between 1991 and 1997 and the second, 2004, includes calvings between 1998 and 2004. Calving and birth seasons were grouped as rainy (June through December) and dry (January through May).

In Table 1 statistical descriptors for data used in analyzing AFC, DFPS, DO and CI with their

Cuadro 1. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos fijos, interacciones de primer orden y covariables para las características reproductivas

Table 1. Probability of fixed effects, first grade interactions and covariables for reproductive characteristics

Variation sources	Response variables			
	AFC	DFPS	DO	CI
Calving number (CN)	NE	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Calving year (CY)	NE	0.0025	<0.0001	<0.0001
Calving season (CS)	NE	<0.0001	<0.0001	<0.0001
CN*CY	NE	0.0007	<0.0001	0.0032
CY*CS	NE	0.0301	0.0025	0.0091
Year of birth	<0.0001	NE	NE	NE
Season of birth	0.1855	NE	NE	NE
<i>Bos taurus</i> gene percentage (linear)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

AFC= age at first calving, DFPS= days to first postpartum service, DO= days open, CI= calving Interval. NE= not estimated due to non inclusion in analysis models.

1,704, 1,297 y 1546 registros individuales de edad al primer parto (EPP); días al primer servicio (DPS); días abiertos (DA) e intervalo entre partos (IEP), respectivamente. La información del número de lactancias se agrupó en cuatro categorías, incluyendo animales desde una hasta 10 lactancias. La categoría 1993 incluyó la información de 1991 hasta 1993, la 1997 de 1994 a 1997, la 2001 de 1998 a 2001; mientras que la 2004 incluyó la información correspondiente al 2002 hasta el 2004. La edad al primer parto también se agrupó en cuatro categorías: 1993, 1997, 2001 y 2004; la primera contuvo los partos de 1991 a 1993, la segunda de 1994 a 1997, la tercera de 1998 a 2001 y la última consideró los años de 2002 a 2004. Paralelamente, la información relativa a los DA y al IEP fueron ordenadas en dos categorías correspondientes al año de parto: 1997 y 2004; la primera incluyó los partos de 1991 a 1997 y la segunda los de 1998 al 2004. Las épocas de parto y de nacimiento se agruparon en lluvias y seca. La época de lluvias fue de junio a diciembre mientras que la seca fue de enero a mayo.

En el Cuadro 1 se presentan los estadísticos descriptivos de los datos usados en el estudio para EPP, DPS, DA e IEP con sus respectivas fuentes de variación como número de parto, año y época de parto, la interacción año x época (que fue significativa en los análisis preliminares), año de nacimiento y el efecto racial lineal de la covariable porcentaje de genes BT.

La EPP, DPS, DA y el IEP se analizaron con el procedimiento Mixed de SAS⁽⁵⁾; el modelo para EPP incluyó los efectos fijos del año de nacimiento de las vacas, el efecto fijo de la época de nacimiento, la interacción de año de nacimiento x época de nacimiento, y el efecto racial lineal de porcentaje de genes BT; mientras que el modelo para DPS, DA e IEP incluyeron los efectos fijos de año de parto de la vaca, estación de parto, número de parto, los efectos aleatorios de semental y de vaca anidada en semental, y el efecto racial lineal de porcentaje de genes como covariable.

Con el propósito de explicar las posibles diferencias debidas a genotipos; el efecto de la heterosis

respective variation sources, calving number, calving year and season, year*season interaction (being significant in the preliminary tests), year of birth and linear racial effect of the BT percent covariable, are shown.

AFC, DFPS, DO and CI were analyzed through the Mixed procedure of the SAS statistical software⁽⁵⁾. The AFC model includes the fixed effects of year of birth of the cows, the effect of birth season, the year*season of birth interaction and linear racial effect of BT percentage; while the DFPS, DO and CI models include the fixed effects of year of birth of the cow, calving season, random effects of sire and of sire within cow and the linear racial effects of gene percentage as covariable.

With the purpose of explaining possible differences due to genotype, the effect of individual cow heterosis was added as a covariable to the analysis models. Cow heterosis was calculated by adding the product of BT gene percentage (as fractions) of the father and BI gene percentage (as fractions) of the mother. For example, for a $\frac{5}{8}$ BT $\frac{3}{8}$ BI father and a $\frac{3}{8}$ BI $\frac{5}{8}$ BT mother cross, cow heterosis was estimated in the following manner:

$$H = \left(\frac{5}{8} \times \frac{5}{8}\right) + \left(\frac{3}{8} \times \frac{3}{8}\right) = \left(\frac{25}{64}\right) + \left(\frac{9}{64}\right) = \frac{34}{64} = \frac{17}{32} = 53.1\%$$

Preliminary results indicated that cow heterosis effect was non significant ($P > 0.05$) and therefore was not included in the final models.

The mixed statistical mixed model applied for age at first calving, after eliminating double interactions and non significant ($P > 0.05$) covariables in preliminary analyses was as follows:

$$Y_{ijkl} = \mu + AN_i + EN_j + AN*EN_{ij} + S_k + b_1(PCTGEU - \mu_{PCTGEU}) + e_{ijkl}$$

Where: μ is the general average; AN_i is the fixed effect of the i-esm year of birth of a cow ($i = 1990, 1991, \dots, 2000$); EN_j is the fixed effect of the j-esm birth season of a cow ($j = \text{rainy, dry}$); $AN*EN_{ij}$ is the fixed effect of the interaction year of birth with season of birth; S_k is the random effect of the

individual de las vacas se adicionó como covariable en los modelos de análisis. La heterosis de la vaca se calculó sumando los productos de la fracción de genes BT del padre por la fracción de genes BI de la madre. Por ejemplo, para el cruzamiento donde el padre es $\frac{5}{8}$ BT $\frac{3}{8}$ BI y la madre es $\frac{3}{8}$ BI $\frac{5}{8}$ BT, la heterosis de la vaca se estimó de la siguiente manera:

$$H = \left(\frac{5}{8} \times \frac{5}{8}\right) + \left(\frac{3}{8} \times \frac{3}{8}\right) = \left(\frac{25}{64}\right) + \left(\frac{9}{64}\right) = \frac{34}{64} = \frac{17}{32} = 53.1\%$$

Los resultados preliminares indican que el efecto de la heterosis de la vaca fue no significativo ($P > 0.05$) y por lo tanto no se incluyó en los modelos finales.

El modelo estadístico mixto para edad al primer parto, después de eliminar las interacciones dobles y covariables no significativas ($P > 0.05$) en análisis preliminares, fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + AN_i + EN_j + AN*EN_{ij} + S_k + b_1(\text{PCTGEU} - \mu_{\text{PCTGEU}}) + e_{ijkl}$$

Donde: Y_{ijkl} es una observación de la variable respuesta (EPP); μ es la media general; AN_i es el efecto fijo del i -ésimo año de nacimiento de la vaca ($i=1990, 1991, \dots, 2000$); EN_j es el efecto fijo de la j -ésima estación de nacimiento de la vaca ($j=\text{lluvias, seca}$); $AN*EN_{ij}$ es el efecto fijo de la interacción de año de nacimiento con estación de nacimiento de la vaca; S_k es el efecto aleatorio del k -ésimo semental ($k=1, \dots, 116$); PCTGEU es el efecto racial lineal de porcentaje de genes de razas europeas como covariable; b_1 es el coeficiente de regresión lineal asociado con el porcentaje de genes de razas europeas; μ_{PCTGEU} es la media estimada de la covariable racial lineal porcentaje de genes de razas europeas; y e_{ijkl} es el error aleatorio.

Se estimaron las medias de cuadrados mínimos para los efectos principales y las interacciones de primer orden significativas ($P < 0.05$), y se compararon utilizando la prueba de Tukey. Para la covariable PCTGEU se obtuvieron los estimadores de los coeficientes de regresión respectivos. Para calcular el intercepto de la ecuación de regresión de las variables se utilizó la estimación de la media

k -esm sire ($k=1, 2, \dots, 116$); b_1 is the linear regression coefficient associated to gene percentage of European breeds as covariable; PCTGEU is the linear racial effect of European gene percentage as covariable; μ_{PCTGEU} is the estimated average of the linear gene percentage of European breeds; e_{ijkl} is the random error.

Least square averages were estimated for the main effects and significant first grade interactions ($P < 0.05$) and were compared using Tukey's test. For the PCTGEU covariable, the respective estimators of regression coefficients were obtained. The intercept for the regression equation was estimated through the general average for each character. For each equation, the first derivative respect of BT gene percentage was obtained and given the value 0 in order to obtain a maximum.

On the other hand, the mixed statistical model for days to first postpartum service, days open and calving interval, after eliminating double interactions and non significant covariables ($P > 0.05$) in preliminary analyses was as follows:

$$Y_{ijklmn} = \mu + AP_i + EP_j + NP_k + S_l + V(S)_{lm} + b_1(\text{PCTGEU} - \mu_{\text{PCTGEU}}) + e_{ijklmn}$$

Where: Y_{ijklmn} is an observation of the response variable; μ is the general average; AP_i is the fixed effect of the i -esm year of calving of a cow ($i=1994, 1995, \dots, 2001$); EP_j is the fixed effect of the j -esm calving season of a cow ($j=\text{rainy, dry}$); NP_k is the fixed effect of the k -esm calving number of a cow; S_l is the random effect of the l -esm sire ($l=1, 2, \dots, 116$); $V(S)_{lm}$ is the random effect of the m -esm cow within the l -esm sire; b_1 is the linear regression coefficient associated to gene percentage of European breeds; PCTGEU is the linear racial effect of European gene percentage as covariable; μ_{PCTGEU} is the estimated average of the linear gene percentage of European breeds; e_{ijklmn} is the random error.

Least square means were estimated for the main effects and significant first grade interactions ($P < 0.05$) and were compared using Tukey's test. For the PCTGEU variable the respective regression coefficient was obtained from the SOLUTION

general de cada carácter. Para cada ecuación, se obtuvo la primera derivada con respecto al porcentaje de genes BT y se igualó a cero para obtener un máximo.

Por otro lado, el modelo estadístico mixto para días al primer servicio, días abiertos e intervalo entre partos, después de eliminar las interacciones dobles y covariables no significativas ($P > 0.05$) en análisis preliminares fue el siguiente:

$$Y_{ijklmn} = \mu + AP_i + EP_j + NP_k + S_l + V(S)_{lm} + b_1(PCTGEU - \mu PCTGEU) + e_{ijklmn}$$

Donde: Y_{ijklmn} es una observación de la variable respuesta; μ es la media general; AP_i es el efecto fijo del i -ésimo año de parto de la vaca ($i =$ de 1994, 1995, ..., 2001); EP_j es el efecto fijo de la j -ésima estación de parto de la vaca ($j =$ lluvias, seca); NP_k es el efecto fijo del k -ésimo número de parto de la vaca ($k = 1, 2, \dots, 5+$); S_l es el efecto aleatorio del l -ésimo semental ($l = 1, \dots, 97$); $V(S)_{lm}$ es el efecto aleatorio de la m -ésima vaca anidada en el l -ésimo semental; PCTGEU es el porcentaje de genes de razas europeas como covariable; b_1 es el coeficiente de regresión lineal asociado con el porcentaje de genes de razas europeas; $\mu PCTGEU$ es la media estimada de la covariable porcentaje de genes de razas europeas; y e_{ijklmn} es el error aleatorio.

option of the Mixed procedure of the SAS software⁽⁵⁾. For each equation, the first derivate respect of BT gene percentage was obtained and given the value 0 in order to obtain a maximum.

RESULTS AND DISCUSSION

Environment effects

In Table 1 the significance levels of the main effects, first grade interaction and covariables of reproductive characteristics are shown, and in Table 2, least square means of days to first postpartum service (DFPS), days open (DO) and calving interval (CI) can be observed. Calving number influenced significantly ($P < 0.05$) DFPS, DO and CI. Fourth calving cows showed lower DFPS values relative to second and third calving cows, and these were different than first calving animals. Equally, second or greater calving cows showed shorter CI and DO ($P < 0.05$) relative to first calving heifers. The difference in DFPS can be explained through growth and body development of adult cows relative to younger animals. These results are in coincidence with others^(6,7) for animals in assorted tropical environments.

Climate influences reproductive performance of animals in different manners, either altering animal metabolism or through seasonal forage production.

Cuadro 2. Medias de cuadrados mínimos (\pm error estándar) para las variables estudiadas

Table 2. Least square means (\pm standard error) for studied variables

Effect	Days to first postpartum service	Days open	Calving interval (months)
Calving number:			
1	197.06 \pm 5.86 a	264.18 \pm 8.07 a	17.86 \pm 0.27 a
2	145.62 \pm 6.87 b	189.98 \pm 9.55 b	15.50 \pm 0.31 b
3	128.38 \pm 8.10 bc	179.77 \pm 10.97 b	15.08 \pm 0.37 b
4	107.55 \pm 9.02 cd	159.93 \pm 12.19 b	14.67 \pm 0.38 b
5 or more	139.88 \pm 7.80 bc	186.25 \pm 10.00 b	15.40 \pm 0.33 b
Calving season:			
Rainy	160.55 \pm 6.73 a	220.70 \pm 9.07 a	16.30 \pm 0.29 a
Dry	126.85 \pm 4.64 b	171.74 \pm 6.14 b	15.10 \pm 0.21 b

Rainy=June-December; Dry=January–May.

^{abc} Averages with different letters within columns and effects indicate differences ($P < 0.05$).

Se estimaron las medias de cuadrados mínimos para los efectos principales y las interacciones de primer orden significativas ($P < 0.05$), y se compararon utilizando la prueba de Tukey. Para la variable PCTGEU el estimador del coeficiente de regresión respectivo se obtuvo de la opción SOLUTION del procedimiento Mixed de SAS⁽⁵⁾ Para calcular el intercepto de la ecuación de regresión de las variables se utilizó la estimación de la media general de cada carácter. Para cada ecuación, se obtuvo la primera derivada con respecto al porcentaje de genes BT y se igualó a cero para obtener un máximo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efectos ambientales

El nivel de significancia de los efectos principales, las interacciones de primer orden y las covariables de las características reproductivas se presentan en el Cuadro 1; mientras que las medias de cuadrados mínimos de días al primer servicio (DPS), días abiertos (DA) e intervalos entre partos (IEP) se muestran en el Cuadro 2. El número de parto influyó significativamente ($P < 0.05$) en DPS, DA e IEP. Las vacas de cuarto parto tuvieron valores inferiores de DPS con respecto a las de segundo y tercer parto; éstas a su vez fueron diferentes a las de primer parto. De forma similar las vacas de segundo o más partos presentaron DA e IEP más cortos ($P < 0.05$) con respecto a las de primer parto. La diferencia en la reducción de días al primer servicio se explica por el crecimiento y desarrollo corporal de las vacas adultas con respecto a las jóvenes. Estos resultados coinciden con los observados por otros autores^(6,7) en animales de distintos ambientes tropicales.

El ambiente climático influye en el comportamiento reproductivo de los animales de distintas formas; una forma es alterando el metabolismo del animal y otra es mediante la estacionalidad de la producción de forrajes y alimentos. En el presente estudio, la época de parto influyó ($P < 0.05$) los DPS, DA e IEP (Cuadro 2). Los animales que parieron en la época de lluvias tuvieron DPS en 33 días antes, y consecuentemente también presentaron DA e IEP más cortos en 50 y 30 días, respectivamente. La

In the present study, calving season influenced significantly ($P < 0.05$) DFPS, DO and CI (Table 2). DFPS for cows who calved in the rainy season were 33 d less than those that calved in the dry season and also shorter CI and DO, 30 and 50 d, respectively. This response can be related to both greater feed availability and better climate, which favor metabolic comfort and therefore an improved reproductive performance. Results obtained in the present study contradict those reported by Vite-Cristóbal *et al*⁽⁸⁾ and by López-Ordaz *et al*⁽⁹⁾, who claim that calving season did not influence AFC, DFPS, DO and CI in crossbred Zebu - Holstein or Brown Swiss cattle in the tropical environment of North Veracruz.

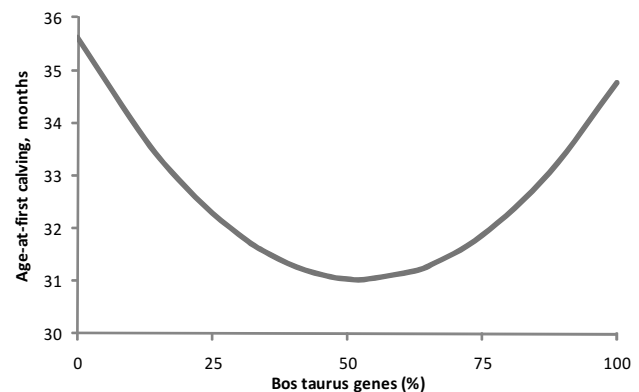
Effect of Bos taurus gene percentage

Some studies^(8,9,10) suggest that the racial group of the cow has a positive influence on reproductive performance of crossbred BT*BI animals. In the present study, the BT gene percentage covariable influenced ($P < 0.05$) AFC, DFPS, DO and CI in BI animals.

Figure 1 shows the linear effect ($P < 0.05$; $R^2 = 0.79$) of PCTGEU in AFC and it can be observed that cows having 49 % BT genes show

Figura 1. Efecto del porcentaje de genes *B. taurus* en la edad al primer parto de vacas 100% puras ó cruzadas *B. taurus* X *B. indicus* en el trópico húmedo

Figure 1. Effect of *Bos taurus* gene percentage on age at first calving for 100 % or crossbred *Bos taurus***Bos indicus* cows in the humid tropics



respuesta se relaciona básicamente con la mayor disponibilidad de forrajes y alimentos para los animales; y también por el mejoramiento del ambiente, con temperaturas más confortables y menos cambiantes que favorecen un confort metabólico apropiado para la actividad reproductiva de los animales. Los resultados del presente estudio son contradictorios a los obtenidos por Vite-Cristóbal *et al*⁽⁸⁾ y López-Ordaz *et al*⁽⁹⁾, quienes observaron que la estación de parto no influyó en la EPP, DPS, DA e IEP de bovinos Cebú cruzados con Holstein o Suizo en las condiciones tropicales del norte de Veracruz.

Efecto del porcentaje de genes *Bos taurus*

Algunos estudios^(8,9,10) sugieren que el grupo racial de la vaca influye positivamente en la actividad reproductiva de los animales provenientes de los cruzamientos de BI X BT. En el presente estudio se observó que la covariable proporción de genes BT influyó ($P < 0.05$) la EPP, los DPS, DA e IEP en los animales BI.

La Figura 1 muestra el efecto lineal ($P < 0.05$; $R^2 = 0.79$) de PCTGEU en la EPP, y se observa que las vacas con 49 % de genes BT tuvieron EPP más cortas (31 meses) comparado con 0, 25, 62.5 y 75 %; dicha proporción fue 13.2, 4.3, 0.3 y 1.0 % más alta para los animales con 0, 25, 62.5 y 75 % de genes BT, respectivamente. La EPP de 35 meses fue similar a la observada en las vacas con 0 % de genes europeos. La variabilidad de los resultados obtenidos para EPP se explica parcialmente por las diferencias en crecimiento, madurez sexual y de adaptación al ambiente que se presentan entre BT y BI. Por ejemplo, Martin *et al*⁽¹¹⁾ observaron que los animales BI maduran reproductivamente a tasas más bajas que las vaquillas con genes europeos. López *et al*⁽¹²⁾ observaron que vaquillas Brahman, Angus y Brangus presentaron una tasa de madurez sexual diferente, de forma que las Angus alcanzaron la pubertad a una edad menor que las Brangus y Brahman.

Los resultados de EPP obtenidos en el presente estudio son similares a los observados en otros trabajos^(8,9,13) donde encontraron reducciones

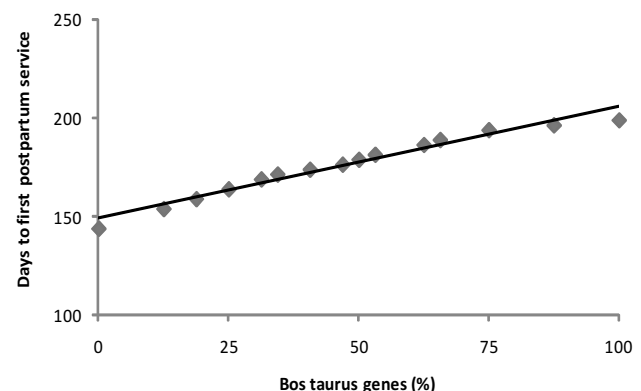
a shorter (31 m) AFC compared to 0, 25, 62.5 and 75 % BT. That proportion was 13.2, 4.3, 0.3 and 1.0 % greater in animals with 0, 25, 62.5 and 75 % BT genes, respectively. The 35. mo AFC was similar to the one found in animals with 0 % BT genes. The variability found in AFC can be explained in part by differences in growth, sexual maturity and adaptation to the environment shown by BT and BI. For example, Martin *et al*⁽¹¹⁾ observed that heifers with BT genes mature sexually before BI animals. Lopez *et al*⁽¹²⁾ report that Angus, Brangus and Brahman heifers show different sexual maturity rates, Angus reaching puberty at a lower age than in the other two breeds.

AFC results found in the present study concur with those reported by other authors^(8,9,13) who report similar drops in AFC as BT % increases. In those studies the ½ BI ½ BT genotype showed the best AFC.

DFPS and DO showed similar performance, as can be seen in Figures 1 and 2. The lower values ($P < 0.05$; $R^2 = 0.74$), 148 and 196 d for DFPS and DO, respectively, were found in 100 % BI animals. When BT genes are introduced, values for these variables increase linearly in response to greater BT proportions, to reach top values of 224

Figura 2. Efecto del porcentaje de genes *B. taurus* en días al primer servicio postparto de vacas 100% puras ó cruzadas *B. tarus* X *B. indicus*

Figure 2. Effect of *Bos taurus* gene percentage on days to first postpartum service for 100 % or crossbred *Bos taurus***Bos indicus* cows



similares en EPP conforme incrementó el porcentaje de BT en los animales cruzados con razas locales; en los mismos estudios se observa que el genotipo $\frac{1}{2}$ BT $\frac{1}{2}$ BI presentó las mejores EPP.

Como se observa en las Figuras 2 y 3, los DPS y DA tuvieron comportamientos similares. Los valores más bajos ($P < 0.05$; $R^2 = 0.74$) de 148 y 196 días para DPS y DA, respectivamente, fueron observados en los animales 100 % BI. Posteriormente, conforme se incorporan genes BT en cruzamientos con las hembras BI, ambas variables incrementan linealmente hasta alcanzar valores máximos de 224 y 320 días para DPS y DA, respectivamente, que corresponden a los genotipos con 100 % de BT. Lo anterior sugiere que las vacas 100 % BI tienen características reproductivas mejores cuando se comparan con vacas cruzadas con cualquier proporción de genes europeos. Los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden con los de otras investigaciones^(10,14) en donde se afirmó que los DA incrementan hasta 100 % conforme la inclusión de genes europeos incrementó en las cruza con razas cebuinas.

En el presente estudio, el mejor comportamiento reproductivo observado en *Bos indicus*, se explica fundamentalmente por la mayor capacidad de adaptación de dichos genotipos a los ambientes

and 320 d for DFPS and DO, respectively, found in 100 % BT animals. This suggests that 100 % BI females have better reproductive characteristics than any crossbred with BT in any proportion. Results obtained in the present study are in coincidence by other authors^(10,14), who state that DO increase up to 100 % as the proportion of BT genes in crossbred BT*BI raise.

In the present study, the better reproductive performance found in *Bos indicus* can be explained to its better adaptation to tropical environments. In tropical conditions prevalent in the north of Veracruz⁽¹²⁾ cows with 25 % BI genes showed a 60 d shorter AFC, a 50 d shorter DO and a 50 d shorter CI than females with 50 % BI genes. Related to this, Chenoweth⁽¹⁵⁾ reports that BI females show better adaptation to tropical environments, that helps explaining in part the physiological and endocrine differences of crossbred BI*BT females in the tropics.

The linear effect of PCTGEU ($P < 0.05$; $R^2 = 0.67$) on CI can be seen in Figure 4. CI increased in response to an increase in BT gene percentage. The lower (15.7 mo) value was observed in females with 0 % BT genes. Besides, as BT gene percentage increases, CI raises to a maximum of 19.4 mo in 100 % BT females. Results found in the present study suggest that the reproductive performance of

Figura 3. Efecto del porcentaje de genes *B. taurus* en los días abiertos de vacas 100% puras o cruzadas *B. tarus* X *B. indicus*

Figure 3. Effect of *Bos taurus* gene percentage on days open for 100 % or crossbred *Bos taurus***Bos indicus* cows

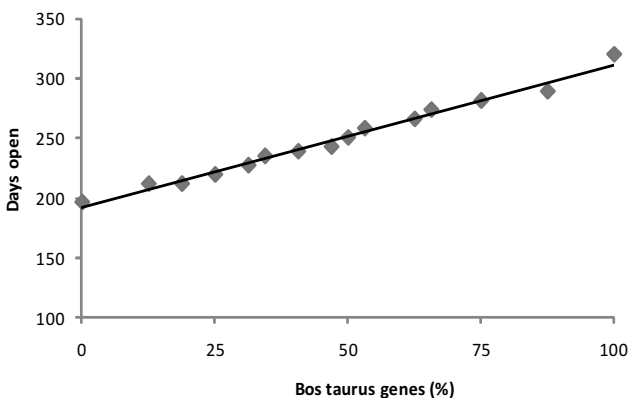
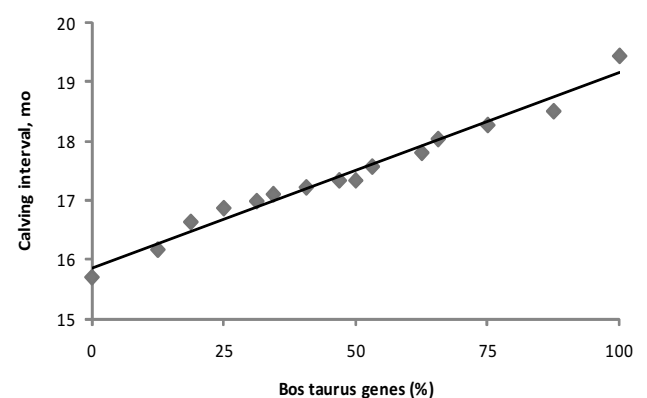


Figura 4. Efecto del porcentaje de genes *B. taurus* en el intervalo entre partos de vacas 100% puras o cruzadas *B. tarus* X *B. indicus*

Figure 4. Effect of *Bos taurus* gene percentage on calving interval for 100 % or crossbred *Bos taurus***Bos indicus* cows



tropicales. En las condiciones tropicales del norte de Veracruz⁽¹²⁾ observaron que los genotipos con 25 % genes BI tuvieron EPP 60 días más temprano, los DA fueron 50 días más cortos y los IEP se redujeron en 50 días comparados con los genotipos con 50 % de genes BI. Al respecto, Chenoweth⁽¹⁵⁾ señaló que los bovinos BI se adaptan mejor a los ambientes tropicales, lo cual explica parcialmente las diferencias fisiológicas y endocrinas de las hembras BI X BT en ambientes tropicales.

En la Figura 4 se observa el efecto lineal ($P < 0.05$; $R^2 = 0.67$) de la PCTGEU en IEP. El IEP incrementó conforme el porcentaje de genes europeos aumentó. El valor mínimo de 15.7 meses se obtuvo en las vacas con 0 % de genes BT. Además, se observó que conforme el porcentaje de genes BT incrementó, también el IEP aumentó en forma lineal hasta alcanzar un valor máximo de 19.4 meses en vacas con 100 % BT. Los resultados observados en el presente estudio sugieren que el comportamiento reproductivo de las vacas 100 % *Bos indicus* fue mejor que las vacas cruzadas con cualquier porcentaje de genes BT.

El IEP depende de tres componentes: los días abiertos, la duración de la gestación y el periodo seco. Basado en que la duración de la gestación tiende a ser constante y que el periodo seco es una función resultante del manejo de hato, el componente más influyente en el IEP es el número de días abiertos. Duarte-Ortuño *et al*⁽¹⁶⁾ indicaron que el IEP no está asociado con factores hereditarios, en virtud de que el índice de herencia para dicha variable es cercano a cero en bovinos de doble propósito. Con base en dicha indicación, el incremento en DA en animales con mayor porcentaje de genes BT se explica parcialmente por un incremento en la producción de leche de estos genotipos^(2,12).

Los resultados del presente estudio coinciden con otros⁽¹⁰⁾, donde se ha mencionado que los IEP tienden a extenderse a medida que se incrementa la proporción de genes BT. Sin embargo, los resultados del presente estudio no coinciden con lo observado por Rege⁽¹⁷⁾ y Rivera⁽¹⁸⁾, quienes encontraron que los animales con menor proporción

100 % *Bos indicus* cows is better than that of those possessing any percentage of *Bos taurus* genes.

CI is the result of three variables, days open, gestation length and dry period. As gestation length shows a trend for being constant and that the dry period is more a function of herd management, the most important CI component is DO. Duarte-Ortuño *et al*⁽¹⁶⁾ affirm that CI is not associated to hereditary factors, because the heredity rate for this variable is close to zero in dual purpose cattle. Based on this, the increase in DO seen in animals with greater BT gene percentage can be explained in part by the greater milk yield observed in these genotypes^(2,12).

Results obtained in the present study are similar to those reported by other authors⁽¹⁰⁾ who report that CI shows a trend to lengthen in response to increases in BT gene percentage. However, results of the present study do not agree with those conveyed by both Rege⁽¹⁷⁾ and Rivera⁽¹⁸⁾, who comment that animals with lower proportion of exotic genes show longer CI. Last but not least, in a revision of papers on crossbreeding for milk production in the tropics⁽¹⁹⁾ the authors mention that CI does not show a definite performance in response to increase in BT gene percentage.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

The shorter AFC (31 mo) was observed in cows with 50 % *Bos taurus* genes, less than for any other BT*BI gene combination. DFPS, DO and CI were longer in crossbred females than in 100 % *Bos indicus* animals. Reproductive performance of cows with 50 % BI genes allows recommending their use as satisfactory for farms in the tropics of Southeast Mexico. However, when associated to milk production, herd management and environment improvement, a 50 to 60 *Bos taurus* gene percentage can be considered more adequate.

End of english version

de genes exóticos presentaron IEP más largos. Finalmente, en una revisión de trabajos sobre cruzamiento en diferentes partes del mundo,

mencionan⁽¹⁹⁾ que el IEP no presenta un comportamiento claro a medida que la proporción de genes *Bos taurus* incrementa.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Las vacas con 50 % de genes *Bos taurus* alcanzaron la edad al primer parto a los 31 meses y fue inferior a las cruzadas con cualquier otra proporción de genes europeos. Los días al primer servicio postparto, días abiertos y el intervalo entre partos fueron más prolongados en las vacas cruzadas con cualquier proporción de genes europeos con respecto a las vacas 100 % *Bos indicus*. El comportamiento reproductivo de vacas con 50 % de genes BI permite recomendarlos como los más apropiados para los ranchos ganaderos en los trópicos del sureste mexicano. Sin embargo, la asociación con producción de leche, manejo general del hato y mejoramiento del ambiente se relaciona más con genotipos con 50 ó 60 % de genes *Bos taurus*.

LITERATURA CITADA

1. 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.
2. López OR, García CR, García MJG, Ramírez VR. Producción de leche de vacas con diferente porcentaje de genes *Bos taurus* en el trópico mexicano. *Téc Pecu Méx* 2009;47(4):435-448.
3. 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.
4. García E. Modificaciones a la clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, México, DF. Universidad Nacional Autónoma de México. 1988.
5. SAS®. SAS User's Guide: Statistics (version 8th ed.). Cary NC, USA. SAS Institute Inc. 2002.
6. Hinojosa CA, Franco A, Bolio I. Factores genéticos y ambientales que afectan el intervalo entre partos en un hato comercial en un ambiente tropical sub-húmedo. *Prod Anim Trop* 1980;5:181-187.
7. Rangel SR. Evaluación de la eficiencia reproductiva en el centro regional tropical de Puyacatengo [tesis licenciatura]. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo; 1984.
8. 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.
9. López-Ordaz R, Vite-Cristóbal C, García-Muñiz JG, Martínez-Hernández PA. Reproducción y producción de leche de vacas con distinta proporción de genes *Bos taurus*. *Arch Zootec* 2009;58(224):683-694.
10. 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.
11. Martín C, Brinks S, Bourdon M, Cundiff V. Genetics effects on beef heifer puberty and subsequent reproduction. *J Anim Sci* 1992;70:4006-4017.
12. 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.
13. Thorpe W, Kangethe P, Rege JEO, 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.
14. Padilla RFJ, Román PH, Castillo RH. Evaluación del comportamiento reproductivo de ganado bovino lechero cruzado con Cebú en clima tropical. *Téc Pecu Méx* 1984;47:170-175.
15. Chenoweth PJ. Aspects in reproduction in female *Bos indicus* cattle: a review. *Aust Vet J* 1994;71:422-426.
16. Duarte-Ortuño A, Thorpe W, Tewolde A. Reproductive performance of purebred and crossbred beef cattle in the tropics of Mexico. *Anim Prod* 1988;47:11-20.
17. Rege OJE. Utilization of exotic germplasm for milk production in the tropics. Proceedings 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Armidale, Australia 1998:25:193-201.
18. Rivera VM. Las experiencias del FIRA en cruzamiento de ganado bovino de doble propósito en el trópico a través de los centros de desarrollo tecnológico. Análisis de los Recursos Genéticos, Ganadería Bovina de doble propósito. Villahermosa, Tabasco. SAGAR. 1998;78-84.
19. 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.