



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

**PRODUCCIÓN DE LECHE DE VACAS CON DIFERENTE
PORCENTAJE DE GENES *BOS TAURUS* EN EL TRÓPICO
MEXICANO**

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

P R E S E N T A

RAFAEL GARCÍA CARREÓN



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Bajo la dirección de:

Rufino López Ordaz, Ph. D.



**Diciembre de 2005
Chapingo, Estado de México.**

PRODUCCIÓN DE LECHE DE VACAS CON DIFERENTE PORCENTAJE DE GENES *BOS TAURUS* EN EL TRÓPICO MEXICANO

Tesis realizada por Rafael García Carreón bajo la dirección del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener
el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR:



Ph.D. Rufino López Ordaz

ASESOR:



Ph.D. José Guadalupe García Muñiz

ASESOR:



Ph.D. Rodolfo Ramírez Valverde

A. 73313
A.T. 2768

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por mostrarme y mantenerme en el camino de la verdad y la vida y por permitirme haber alcanzado uno de mis mayores anhelos como ser humano.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Producción Animal, por darme la oportunidad de seguir superándome como profesionista y como persona.

Al Ph. D. Rufino López Ordaz, por su valiosa y acertada dirección en la realización del presente trabajo y por compartir conmigo su amistad.

Al Ph. D. José Guadalupe García Muñiz, por su gran apoyo e invaluable esfuerzo en la planeación y dirección del presente trabajo.

Al Ph. D. Rodolfo Ramírez Valverde, por sus acertadas observaciones y comentarios que enriquecieron y mejoraron el trabajo.

Al Ph. D. Rafael Núñez Domínguez, gracias por sus consejos y por ser una gran persona.

Al Sr. Jorge Priego Pérez "Rancho La Carolina" por todas las facilidades otorgadas para la realización del presente trabajo.

A todos mis amigos del Posgrado en Producción Animal. Muchas gracias por su amistad y por todos los consejos y comentarios que hemos compartido en beneficio de todos.

Rafael

DEDICATORIA

A mis padres, Jacinto García San Gabriel y Eduvina Carreón Moctezuma, por darme lo más valioso que poseemos "la vida" y darme su amor y consejos para hacer de mí un hombre de provecho y por la dicha de darme una familia ejemplar.

A mis hermanos Telésforo, Rosario, Efraín, Sergio Enrique y Araceli por el cariño que nos une y por estar conmigo en todo momento.

A mi hermano Jacinto Samuel y mis hermanas Magdalena y Jenny Lilia, por ser amigos antes que hermanos y por ser un ejemplo de superación en mi vida.

Rafael

DATOS BIOGRÁFICOS

1. DATOS PERSONALES

Nombre: Rafael García Carreón
Fecha de Nacimiento: 08 de julio de 1978
Lugar de origen: El Cafetal, Alto Lucero, Veracruz
Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia
Cédula profesional: 3788515

2. FORMACIÓN ACADÉMICA

1984-1990	Escuela Primaria "PROGRESO". El Cafetal, Alto Lucero, Veracruz.
1990-1993	Escuela Secundaria Técnica No. 16. Tecamatlán, Puebla.
1994-1997	Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.
1997-2001	Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.
2003-2004	Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México.

CONTENIDO

	Pág.
Agradecimientos.....	II
Dedicatoria.....	III
Datos biográficos.....	IV
Lista de cuadros.....	VI
Lista de figuras.....	VI
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
Características de la producción de leche en el trópico.....	2
Factores ambientales que influyen en la producción de leche.....	3
Tipos raciales utilizados en los trópicos.....	5
Producción de leche por lactancia.....	7
Producción de leche por día interparto, por día de lactancia y al secado.....	10
Producción de leche al pico de producción.....	11
Duración de la lactancia.....	12
Persistencia.....	13
Problemática de la producción de leche en el trópico.....	14
Perspectivas de los cruzamientos para condiciones tropicales.....	16
Literatura citada.....	18
CAPÍTULO 3. PRODUCCIÓN DE LECHE DE VACAS CON DIFERENTE PORCENTAJE DE GENES <i>BOS TAURUS</i> EN EL TRÓPICO MEXICANO.....	24
Resumen.....	25
Abstract.....	26
Introducción.....	27
Materiales y métodos.....	28
Resultados.....	37
Discusión.....	50
Conclusiones.....	57
Referencias.....	57

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Genotipo del padre, madre y vaca, porcentaje de heterosis y de genes BT en la vaca, y número de vacas y lactancias utilizadas en el estudio.....	30
Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de las variables analizadas.....	34
Cuadro 3. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos principales, interacciones de primer orden y covariables para las diferentes variables evaluadas	38
Cuadro 4. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ error estándar) para las variables estudiadas.....	39

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Efecto del porcentaje de genes <i>Bos taurus</i> sobre la producción total de leche de vacas en condiciones tropicales	42
Figura 2. Efecto del porcentaje de genes <i>Bos taurus</i> sobre la producción de leche por día de vacas en condiciones tropicales	43
Figura 3. Efecto del porcentaje de genes <i>Bos taurus</i> sobre la producción de leche por día interparto de vacas en condiciones tropicales	44
Figura 4. Efecto del porcentaje de genes <i>Bos taurus</i> sobre la producción de leche al pico de vacas en condiciones tropicales	45
Figura 5. Efecto del porcentaje de genes <i>Bos taurus</i> sobre la producción de leche al día de secado de vacas en condiciones tropicales	46
Figura 6. Efecto del porcentaje de genes <i>Bos taurus</i> sobre la producción de leche por día de vida en el hato de vacas en condiciones tropicales....	47
Figura 7. Efecto del porcentaje de genes <i>Bos taurus</i> sobre la duración de la lactancia de vacas en condiciones tropicales	48
Figura 8. Efecto del porcentaje de genes <i>Bos taurus</i> sobre la persistencia de vacas en condiciones tropicales.....	49

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las áreas tropicales en México se han considerado como un sitio potencial para la producción de leche. En dichas áreas predominan los bovinos de distintas razas de cebuinos puros o en cruzamiento con razas europeas y son los que sostienen la producción de leche. Sin embargo, como en otras regiones tropicales, la producción por vaca es baja debido a los efectos ambientales y a la tecnología de manejo.

Debido a lo anterior, y asociado a las políticas del mercado globalizado, una de las primeras señales tecnológicas es la necesidad de contar con genotipos más productivos, con mayor capacidad de consumo de alimento y más adaptables al ambiente.

En el contexto de las áreas tropicales, el mejoramiento de los genotipos significa mantener los atributos de las razas locales que confieren adaptación al estrés del trópico e introducir otros atributos que confieren niveles más altos de producción de leche.

La revisión de literatura del Capítulo 2 explora cómo el balance de atributos entre las características de adaptación e incremento en los niveles de producción pueden definirse y alcanzarse en el caso específico de las condiciones productivas de un hato en el sureste mexicano.

Finalmente, en el Capítulo 3 se presenta el artículo científico derivado del análisis de las lactancias que provinieron de vacas con diferentes proporciones de genes *Bos taurus* (BT) y *Bos indicus* (BI), fluctuando desde BI puras hasta 1/8BI 7/8BT.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Características de la producción de leche en el trópico

En México como en la mayoría de los países de América Latina, la producción de leche (PL) se desarrolla en condiciones agroecológicas, tecnológicas y socioeconómicas muy heterogéneas; donde se distinguen cuatro sistemas de producción: el especializado, el semiespecializado, el sistema de doble propósito (SDP) y la lechería familiar (Espinoza-García *et al.*, 2000). En el trópico el sistema más utilizado es el SDP, el cual se caracteriza por el ordeño de vacas mestizas de razas distintas o cruza con Cebú (Casas y Tewolde, 2001; Lozano y Maza, 2002; Sheen y Riesco, 2002). Además, el sistema se caracteriza por ordeñar a las vacas con estimulación mediante la presencia del ternero (Wadsworth, 1992). Ruiz y Avendaño (1989) consideraron que en el SDP en México, la base de la alimentación es el pastoreo extensivo de especies nativas como *Paspalum spp*, *Axonopus spp*, y algunas especies introducidas como estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*); guinea (*Panicum maximun*); elefante (*Pennisetum purpureum*); pará (*Brachiaria mutica*); pangola (*Digitaria decumbens*) y jaragua (*Hyparrhenia rufa*).

La eficiencia reproductiva de las vacas en los SDP se caracteriza por intervalos entre partos de aproximadamente 447 días (Anta *et al.*, 1994); sin embargo, dicho intervalo es mayor de 490 días en vacas de doble propósito con amamantamiento tradicional (i.e. cuando el becerro permanece con su madre por 5-8 h después del ordeño; Escobar *et al.*, 1984). En el SDP, las vacas con amamantamiento tradicional tienen un anestro posparto que se extiende en

muchas ocasiones hasta 250 días (Villa-Godoy y Villagómez, 2000). Algunos otros factores que afectan la PL y la fertilidad de los bovinos tropicales incluyen a la época del año, el número de parto y el genotipo de la vaca (Villegas-Carrasco y Román-Ponce, 1986; Hernández-Reyes *et al.*, 2000; Sheen y Riesco, 2002).

Las condiciones del medio tropical afectan de manera considerable el comportamiento productivo de los animales, disminuyendo su producción, condicionando su manejo, y limitando la expresión de su potencial genético. Entre los factores ambientales que inciden mayormente en la productividad de los animales se encuentran la disponibilidad y calidad de los forrajes, en particular durante los prolongados periodos de sequía, el manejo, trastornos fisiológicos, patologías y el conjunto de variables climáticas como la humedad relativa, que es importante en la disipación de calor, las altas temperaturas y su efecto indirecto sobre el incremento calórico de los animales y lo errático de la precipitación sobre el crecimiento de los pastos. Es por esto que las variaciones estacionales que se manifiestan año con año juegan un papel preponderante en el desempeño productivo de los animales.

Factores ambientales que influyen en la producción de leche

El volumen de leche producida es el resultado de la conjunción de factores de la vaca, el ambiente y el manejo por el hombre. De los factores ambientales, el año de parto influye en la cantidad de leche producida de diferentes formas. Una forma directa es alterando el metabolismo del animal por las temperaturas altas e indirectamente determinando la estacionalidad de la producción forrajera (Collier *et al.*, 1982; Jonsson *et al.*, 1999). Algunos estudios

(Rivera *et al.*, 1989; López y Vaccaro, 2002; Vite *et al.*, 2004) han publicado efectos del año de parto sobre la producción de leche. El año de parto es una fuente de variación difícil de explicar, ya que su efecto se debe a factores de manejo, ambientales y sus interacciones, además de que su efecto es muchas veces aleatorio.

La estación de parto representa la conjunción de varios factores climáticos y las condiciones de manejo de los animales. Las estaciones del año representan la suma de eventos meteorológicos que se expresan en tiempos definidos durante el año. La conjunción de elementos que definen el ambiente físico de una temporada a otra, puede tener una connotación especial, dependiendo de la dominancia de una u otra variable. Por ejemplo, en las condiciones tropicales, el invierno se relaciona con temperaturas cercanas a 18°C, con precipitaciones y vientos moderados que permiten un "confort" metabólico apropiado para el crecimiento corporal y la producción de leche de los animales (Collier *et al.*, 1982; Badinga *et al.*, 1985).

Hernández-Reyes *et al.* (2000) no encontraron efectos ($P > 0.05$) de la estación de parto sobre la PL de vacas en condiciones tropicales; sin embargo, muchos de los estudios realizados en trópico muestran que la PL es influida ($P < 0.05$) grandemente por la estación de parto (Enríquez *et al.*, 1989; López y Vaccaro, 2002; Vite *et al.*, 2004). El efecto de la época de parto en la producción de leche enfatiza la necesidad de un manejo diferencial a través de épocas, el objetivo es minimizar las diferencias en PL a través del año para no crear una sobre oferta del producto y abaratar su precio.

De los factores ambientales intrínsecos de las vacas, el número de parto influye en la cantidad de leche cosechada; esto puede explicarse por el crecimiento y desarrollo corporal mayor, conjuntamente con el tracto gastrointestinal, las vísceras y la glándula mamaria, las cuales son de mayor tamaño en vacas adultas que en vacas más jóvenes. En varios estudios (Enríquez *et al.*, 1989; Rivera *et al.*, 1989; Hernández-Reyes *et al.*, 2000; López y Vaccaro, 2002; Vite *et al.*, 2004) se ha demostrado la influencia del número de parto en la PL. Generalmente, las mayores diferencias se han encontrado en vacas de primer parto respecto a los demás partos, siendo mayor la PL en vacas de dos o más partos. Esto se puede atribuir a que las vacas de primer parto no han terminado su desarrollo corporal, por lo que primero satisfacen sus requerimientos de mantenimiento y crecimiento, y luego los de producción.

Tipos raciales utilizados en los trópicos

En las áreas tropicales, la leche proviene principalmente de hatos bovinos *Bos indicus* (BI) y sus cruzas con Holstein, Suizo Pardo y otros genotipos *Bos taurus* (BT) especializados (Juárez *et al.*, 1999; Hernández-Reyes *et al.*, 2000; Gómez *et al.*, 2002). En Centroamérica se encuentran distintas razas de ganado criollo utilizadas en SDP y sistemas especializados incluyendo el Criollo Lechero Centroamericano (Ganado Reyna) y el ganado Carora, respectivamente (Tewolde, 2005). También se han evaluado los cruzamientos de ganado criollo con otras razas como Jersey o Cebú (Salgado, 1988; McDowell, 1993). Los genotipos en los cruzamientos antes mencionados varían desde bajas hasta altas proporciones de genes BT.

En el trópico mexicano, las razas lecheras en pastoreo pueden alcanzar producciones por lactancia de 2,953 a 6,745 kg en 305 días (Ortiz, 1994; Gómez y Tewolde, 1999). En otros países de América Latina, los genotipos con genes BI alcanzaron producciones de 1,347 kg de leche por lactancia (McDowell *et al.*, 1996). Por lo anterior, los productores de las áreas tropicales deben elegir los genotipos y sistemas de cruzamiento adaptados a condiciones específicas de producción, en aras de incrementar la productividad y la sostenibilidad de las explotaciones (Gómez y Tewolde, 1999; Hernández-Reyes *et al.*, 2000; Casas y Tewolde, 2001).

A pesar de las condiciones ambientales y de manejo contrastantes que caracterizan a los SDP, se ha demostrado que es posible mejorar la PL, la fertilidad, y la ganancia de peso de las crías durante y después de la lactancia (Rivera *et al.*, 1989; Hernández-Reyes *et al.*, 2000).

La expresión del potencial genético de los animales depende principalmente del clima, la temperatura y la humedad relativa; dichos factores están relacionados directa e indirectamente con la disipación de calor y el incremento calórico, lo cual influye en el consumo de nutrientes. Otro factor importante en los trópicos es la incidencia alta de parásitos internos y externos, los cuales pueden tener un impacto directo en la salud del animal, reduciendo su eficiencia productiva.

En estudios recientes (Ríos-Utrera *et al.*, 1994; Hernández-Reyes *et al.*, 2000; Madalena, 2001; Vite *et al.*, 2004) se ha mostrado que las vacas *Bos taurus-Bos indicus* utilizadas en ambientes tropicales poseen una mejor adaptación a esas condiciones, lo cual se ve reflejado en una mayor PL y una

mejor eficiencia reproductiva, que con genotipos puros. Lozano y Maza (2002) encontraron que en genotipos con mayor proporción hacia cualquiera de las razas BT o BI, la producción de leche disminuyó, probablemente debido a que existe un desequilibrio entre las razas lecheras más productivas (*Bos taurus*) y la resistencia al ambiente que proporcionan las razas cebuinas (*Bos indicus*). Estos mismos autores concluyeron que los genotipos con proporciones de genes Holstein de 50 a 62.5% produjeron más leche que otras proporciones fuera de este rango, indicando que un 25% de genes BI no es suficiente para proveer adaptación a las condiciones tropicales. Por otro lado, Tadesse y Tadelle (2003) encontraron para bovinos Boran y Barca en cruza con Holstein, que los genotipos con 50 y 75% de genes Holstein presentaron mejores parámetros reproductivos que las razas puras involucradas en ese estudio.

Producción de leche por lactancia

El medio físico que caracteriza las condiciones tropicales y demás factores que inciden en la producción animal, afectan de manera sustancial el comportamiento productivo de los animales que ahí se explotan, de manera que los valores de los indicadores productivos encontrados en la literatura son muy variables de un estudio a otro. Vieira de Sa (1965) afirmó que la influencia de los diversos factores climáticos, aislados o en conjunto, sobre la productividad lechera en los trópicos, ha sido observada bajo diversos aspectos, llegando a la conclusión de que el medio tropical bajo cualquiera de sus tipos climáticos, condiciona un descenso en la productividad.

Los sistemas de producción animal en el trópico a nivel mundial sostienen la mayor parte de la población humana (66%), tienen la mayor

superficie de pastos (66%), cuentan con proporción grande (53%) de vacas lecheras y su producción de leche representa la cuarta parte de la producción mundial (Seré, 1996). El área tropical de México abarca 51'278,600 de hectáreas que corresponden al 26.2% del territorio nacional. De éstas, 18'952,300 (37%) se dedican a la producción pecuaria, donde pastorean aproximadamente 12 millones de bovinos (40% del inventario nacional) que producen el 28 y 39% de la leche y carne que se consume en México, respectivamente; la mayor parte de estos productos provienen de los 3'900,000 vacas que se explotan bajo el SDP en esta área (Koppel *et al.*, 1999).

A pesar de la importancia de la actividad lechera en el trópico, la PL por lactancia está tipificada como baja. Por ejemplo, Villegas-Carrasco y Román-Ponce (1986) y Rivera *et al.* (1989) observaron producciones promedio de 1,110 litros de leche por lactancia en hatos de doble propósito en Veracruz y 1,131 litros en la región de la Huasteca, respectivamente. En otro estudio, Hernández-Reyes *et al.* (2000) observaron producciones por lactancia de $1,593.0 \pm 128.3$, $2,012.9 \pm 95.0$ y $1,832.7 \pm 127.7$ kg en vacas $\frac{1}{2}$ Suizo Pardo $\frac{1}{2}$ Cebú, $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Cebú y $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{4}$ Suizo Pardo $\frac{1}{4}$ Cebú, respectivamente. Por otro lado, Teyer-Bobadilla *et al.* (2002) observaron en vacas Holstein manejadas en un SDP en el centro de Yucatán producciones de $2,035 \pm 47$ kg de leche. En la zona Norte de Veracruz, Vite *et al.* (2004) observaron producciones de leche ajustadas a 270 días de $3,519.0 \pm 235$, $3,569.0 \pm 237$ y $3,396.0 \pm 259$ kg en vacas $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Cebú, $\frac{1}{2}$ Suizo $\frac{1}{2}$ Cebú y $\frac{3}{4}$ Suizo $\frac{1}{4}$ Cebú, respectivamente. Este último estudio tiene características poco comunes a las

manejadas en otros SDP; por ejemplo, el doble ordeño, la crianza artificial de terneros y la complementación con concentrado comercial.

En otras condiciones tropicales, López y Vaccaro (2002) encontraron producciones por lactancia de $1,389 \pm 38$, $1,346 \pm 43$, $1,526 \pm 34$ y $1,321 \pm 44$ kg en vacas $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Cebú, $\frac{1}{2}$ Suizo Pardo $\frac{1}{2}$ Cebú, $\frac{5}{8}$ Holstein $\frac{3}{8}$ Cebú y $\frac{5}{8}$ Suizo Pardo $\frac{3}{8}$ Cebú, respectivamente. En contraste, los mismos autores, no encontraron diferencias en PL entre las vacas F_1 Holstein por Cebú y Suizo Pardo por Cebú. Sin embargo, las vacas $\frac{5}{8}$ Holstein $\frac{3}{8}$ Cebú mostraron rendimientos superiores a los otros genotipos.

Los resultados anteriores, son consistentes con los observados en otras regiones tropicales del mundo. Por ejemplo, en las condiciones tropicales de África, Thorpe *et al.* (1993) observaron que las vacas Sahiwal (S, más de 87.5 % de genes Sahiwal), $\frac{3}{4}$ S $\frac{1}{4}$ Ayrshire (A), $\frac{1}{2}$ A $\frac{1}{2}$ S, $\frac{1}{2}$ H $\frac{1}{2}$ S y $\frac{3}{4}$ A $\frac{1}{4}$ S tuvieron producciones por lactancia de $1,154 \pm 46$, $1,234 \pm 46$, $1,537 \pm 50$, $1,611 \pm 69$ y $1,638 \pm 51$ kg, respectivamente. En el mismo estudio de Thorpe *et al.* (1993) se observó que la PL incrementó linealmente conforme el porcentaje de genes de S disminuyó hasta un 25%. En una revisión de literatura considerando información de varios estudios, Rege (1998) encontró para diferentes proporciones (0 a 100%) de genes BT, que la producción de leche se seguía incrementando aún después de 50% de genes BT; sin embargo, no se observaron diferencias ($P > 0.05$) en producción de leche de proporciones más altas de 50% BT, comparadas con los F_1 ($\frac{1}{2}$ BT $\frac{1}{2}$ BI).

La PL es el resultado de la integración de factores del animal, del ambiente y el manejo. En las condiciones tropicales, la integración de dichos

factores requiere un manejo adecuado y un ambiente confortable, para lograr la expresión productiva máxima de los genotipos.

Producción de leche por día interparto, por día de lactancia y al secado

La PL por lactancia, por día de intervalo entre partos (PLIEP) y por día de vida en el hato (PLDVH), asociados con la edad al primer parto (EPP), el intervalo entre partos (IEP) y los días abiertos (DA) son los indicadores más usados en el diagnóstico de los SDP. Sin embargo, debido a la complejidad del estudio para condiciones específicas, dichos parámetros han sido poco estudiados y la información asociada con la productividad de los mismos es todavía escasa.

En un estudio realizado en la Huasteca Veracruzana, Vite *et al.* (2004) observaron que la PLIEP fue de 10.2 ± 0.7 , 9.8 ± 0.7 y 9.4 ± 0.8 kg para vacas $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Cebú, $\frac{1}{2}$ Suizo $\frac{1}{2}$ Cebú y $\frac{3}{4}$ Suizo $\frac{1}{4}$ Cebú, respectivamente. Dichas producciones son superiores a las expresadas por los mismos genotipos en otras condiciones de producción, básicamente debido a las condiciones ambientales diferentes en el estudio de Vite *et al.* (2004). Rivera *et al.* (1989) estimaron PLIEP de 3.13 ± 0.20 y 3.52 ± 0.12 para ganado F₁, Suizo Pardo-Cebú y Holstein-Cebú, respectivamente. Sin embargo, se ha publicado información donde la PLIEP es mayor para vacas F₁ Suizo Pardo-Cebú, debido a sus IEP más cortos (Avendaño, 1997; Isea *et al.*, 1988). En las condiciones tropicales de Venezuela, López y Vaccaro (2002) observaron que los bovinos mestizos con 50 y 62.5% de genes BT y el resto de BI, no fueron diferentes en la PLIEP.

Con relación a la producción de leche por día de lactancia (PLD), Lozano y Maza (2002) encontraron un valor promedio de 5.7 ± 0.1 kg en vacas F_1 Holstein-Sahiwal en el estado de Colima, México. Tadesse y Tadelles (2003) encontraron valores de 7.21 ± 0.26 , 6.36 ± 0.30 , 7.15 ± 0.28 y 6.92 ± 0.25 kg para genotipos $\frac{1}{2}$ Barca $\frac{1}{2}$ Holstein, $\frac{1}{2}$ Boran $\frac{1}{2}$ Holstein, $\frac{1}{4}$ Barca $\frac{3}{4}$ Holstein y $\frac{1}{4}$ Boran $\frac{3}{4}$ Holstein, respectivamente. Vite *et al.* (2004) estimaron la PLD en vacas suplementadas con concentrados, reportando valores de 12.5 ± 0.9 , 13.0 ± 0.9 y 11.3 ± 0.9 kg para vacas F_1 Holstein-Cebú, F_1 Suizo-Cebú y $\frac{3}{4}$ Suizo $\frac{1}{4}$ Cebú, respectivamente. Osorio (1998) observó que la PLD en vacas F_1 Holstein-Cebú fue de 5.4 y 3.6, para hatos con nivel tecnológico medio y bajo, respectivamente.

Con respecto a la producción de leche al secado (PLS), sólo se encontró un estudio en donde se reportan valores de 6.2 ± 0.7 , 6.3 ± 0.7 y 5.0 ± 0.7 kg para vacas F_1 Holstein-Cebú, F_1 Suizo-Cebú y $\frac{3}{4}$ Suizo $\frac{1}{4}$ Cebú, respectivamente (Vite *et al.*, 2004).

Teodoro y Madalena (2005) observaron PLDVH de 7.51 ± 0.35 kg para el genotipo $\frac{3}{4}$ BT $\frac{1}{4}$ BI, siendo superior ($P < 0.05$) a los valores de 6.46 ± 0.22 y 6.18 ± 0.25 de los genotipos $\frac{13}{16}$ BT $\frac{3}{16}$ BI y $\frac{7}{8}$ BT $\frac{1}{8}$ BI, respectivamente.

Producción de leche al pico de producción

La producción de leche al pico (PLP) y los días en que se alcanza dicha producción (DP) en los SDP encontrados en el trópico mexicano, aún no son tomados como parámetros importantes para el diagnóstico de las explotaciones, por lo que los datos encontrados para dichos indicadores son escasos. Lozano y Maza (2002) encontraron valores de 57.12 ± 5.7 d y $8.31 \pm$

0.2 kg para DP y PLP, respectivamente, en vacas F_1 Holstein-Sahiwal en el estado de Colima. Por otra parte, Vite *et al.* (2004) estimaron PLP de 15.4 ± 2.5 , 19.7 ± 2.6 y 17.0 ± 2.3 kg en vacas F_1 Holstein-Cebú, F_1 Suizo-Cebú y $\frac{3}{4}$ Suizo $\frac{1}{4}$ Cebú, respectivamente. Finalmente, se han encontrado valores de 11.89 ± 0.25 kg para vacas cruzadas $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Cebú y 11.01 ± 0.36 kg para vacas cruzadas $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Sahiwal, los cuales se han alcanzado a los 51.9 y 61.3 días, respectivamente (Osorio-Arce y Segura-Correa, 2005). La PLP en los SDP probablemente dependa fuertemente de factores ambientales como época, año y número de parto, y de decisiones de manejo como la duración del periodo seco.

Duración de la lactancia

La duración de la lactancia (DL) depende de varios factores, incluyendo las decisiones de manejo, el genotipo y las condiciones ambientales. Hernández-Reyes *et al.* (2000) observaron que las vacas $\frac{1}{2}$ Suizo Pardo $\frac{1}{2}$ Cebú, $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Cebú y $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{4}$ Suizo Pardo $\frac{1}{4}$ Cebú tuvieron lactancias de 240.2 ± 12.1 , 255.4 ± 9.0 y 274.9 ± 11.9 días, respectivamente. En el mismo estudio la duración promedio de la lactancia fue de 255 ± 80 días; que fue mayor a los valores de 153 y 172 días de vacas $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Cebú y $\frac{1}{2}$ Suizo $\frac{1}{2}$ Cebú, respectivamente (Silva *et al.*, 1989), y a los de 215 y 231 días para vacas $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Cebú y $\frac{1}{2}$ Suizo $\frac{1}{2}$ Cebú encontrados por Villegas-Carrasco y Román-Ponce (1986) en Veracruz, México. En condiciones tropicales del norte de Veracruz Vite *et al.* (2004) encontraron DL para genotipos F_1 Holstein-Cebú, F_1 Suizo-Cebú y $\frac{3}{4}$ Suizo $\frac{1}{4}$ Cebú suplementados, de 284.8 ± 34.0 , 334.8 ± 36 y 355.8 ± 32.2 días, respectivamente.

En otros estudios en Venezuela, Vaccaro *et al.* (1999) encontraron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) para la DL en bovinos $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Cebú y $\frac{1}{2}$ Suizo Pardo $\frac{1}{2}$ Cebú (264 ± 10 y 234 ± 7 días, respectivamente). López y Vaccaro (2002) encontraron que las vacas $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Cebú, $\frac{1}{2}$ Suizo Pardo $\frac{1}{2}$ Cebú, $\frac{5}{8}$ Holstein $\frac{3}{8}$ Cebú y $\frac{5}{8}$ Suizo Pardo $\frac{3}{8}$ Cebú tuvieron duraciones de lactancia de 261 ± 4 , 241 ± 5 , 264 ± 4 y 247 ± 5 días, respectivamente. Además, las vacas $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Cebú y $\frac{5}{8}$ Holstein $\frac{3}{8}$ Cebú fueron superiores a las otras cruas. Thorpe *et al.* (1993) observaron DL de 271 ± 6 , 274 ± 6 , 284 ± 7 , 290 ± 10 y 299 ± 7 para genotipos S ($\geq 87.5\%$ Sahiwal), $\frac{3}{4}$ S $\frac{1}{4}$ A, $\frac{1}{2}$ A $\frac{1}{2}$ S, $\frac{1}{2}$ H $\frac{1}{2}$ S y $\frac{3}{4}$ A $\frac{1}{4}$ S, respectivamente. Este último estudio mostró que la DL fue mayor conforme el porcentaje de genes Sahiwal disminuyó hasta un 25%.

Lozano y Maza (2002), indicaron que la variación en la DL depende principalmente del sistema de explotación, donde éste es afectado principalmente por el tiempo al destete de las crías. Otros factores tales como productividad de la vaca, condición reproductiva, salud, disponibilidad de alimentos, de espacios físicos y la cantidad de reemplazos disponibles, también influyen en la DL. Además, la DL se relaciona con eventos no previstos como abortos, partos prematuros y fallas en las fechas en que se registran los eventos involucrados como el parto entre otros; aunado a esto, la lactancia es también controlada por los días abiertos, el largo de gestación y el periodo seco.

Persistencia

La persistencia (P) se relaciona con la reducción de la PL después del pico máximo y estima el porcentaje de PL que es posible mantener o que se

mantiene después de la producción máxima. Existen algunas formas de estimar la persistencia. Por ejemplo, en el modelo de Wood ($Y_t = at^b e^{-ct}$) (Wood, 1967) la lactancia alcanza un máximo a un tiempo $t = b/c$, con una producción de leche esperada al pico, $a(b/c)^b \exp^{-b}$; y la persistencia se estima como $s = -(b+1)\ln c$. En la ecuación anterior, se puede notar que cuando c es menor que cero, la persistencia no es estimable y que cuando además b es menor que cero la función no tiene pico de producción. Osorio-Arce y Segura-Correa (2005) utilizando la metodología de Wood encontraron persistencias de 6.76 ± 0.047 y 6.93 ± 0.073 para vacas $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Cebú y $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Sahiwal, respectivamente, estos valores son ligeramente más grandes al valor publicado ($s = 4.18$) para bovinos Suizo Pardo (Galavíz *et al.*, 1998).

Problemática de la producción de leche en el trópico

Desde el punto de vista socioeconómico, es importante resaltar que en los sistemas ganaderos de doble propósito predominan los pequeños y medianos productores, con recursos físicos, técnicos y financieros muy limitados y frecuentemente ubicados en áreas de producción marginales, bien sea por su ubicación geográfica o por la pobre calidad de sus recursos productivos (Rivas y Holmann, 2002).

Gómez *et al.* (2002) concluyeron que el sistema predominante de los SDP en el centro de Chiapas México es el semi-extensivo, caracterizado por grandes áreas de pastizales y pocas hectáreas dedicadas a otros cultivos, baja productividad, ranchos de mediana cantidad de ganado (alrededor de 100 cabezas), con aproximadamente 20 vacas en producción.

Por otra parte, a pesar de su enorme dotación de recursos forrajeros, la ganadería de los trópicos enfrenta agudos problemas relacionados con la cantidad, calidad y productividad de las pasturas, en particular durante los periodos prolongados de sequía. Este es un problema a gran escala y obedece principalmente a que una elevada fracción de la base forrajera disponible está conformada por pasturas nativas, adaptadas pero de baja productividad, y por especies introducidas altamente degradadas (Rivas y Holmann, 2002).

La producción de leche en el SDP con vacas cruzadas de mediano potencial lechero y en pastos nativos, se complica más con el sistema de amamantamiento con presencia del becerro. La producción de leche es afectada por una interacción del becerro con la vaca y por el manejo del amamantamiento de la cría (Osorio-Arce y Segura-Correa, 2005), lo cual indica que el manejo, tipo de animales y selección practicada en el hato, tienen un efecto importante en la curva de la lactancia. Además, la producción de leche con base en el pastoreo no permite a las vacas con altos niveles de producción inicial mantenerla durante toda la lactancia.

Rivas y Holmann (2002) concluyeron que existen limitaciones de carácter técnico y económico que frenan el progreso de los SDP. La dependencia del pastoreo extensivo tradicional, basado en recursos forrajeros de muy baja productividad, resulta en pobres índices de producción por hectárea y por cabeza, elevados niveles de mortalidad y bajas tasas de natalidad. La falta de capital para la adquisición de ganado, al adoptar praderas mejoradas que soportan elevadas cargas animales, se constituyen en una restricción crítica que limita la expansión de la producción en los SDP.

Perspectivas de los cruzamientos para condiciones tropicales

Una de las alternativas mediante las cuales se puede incrementar la PL en el trópico, es mediante el cruzamiento de animales adaptados a las condiciones tropicales con razas lecheras europeas. Los cruzamientos más comunes se han basado en las razas cebuinas de orígenes diferentes con razas europeas como la Holstein y Suizo Pardo (Osorio-Arce y Segura-Correa, 2002; Juárez *et al.*, 1999; Carvajal-Hernández *et al.*, 2002).

La justificación del uso de animales BT es la ventaja de la heterosis proveniente del cruzamiento de razas europeas con razas cebuinas localmente adaptadas (Syrstad, 1996). Algunas de las primeras evaluaciones de programas de cruzamiento que utilizaron razas cebuinas (Brahman, Gyr y Nelore) y razas europeas lecheras (Holstein, Suizo y Jersey), fueron realizadas por Villegas-Carrasco y Román-Ponce (1986), Hernández *et al.* (1989) y Madalena *et al.* (1990). En una revisión de estudios realizada por Vaccaro (1984), no se observaron diferencias en cuanto al porcentaje de abortos y nacidos muertos entre la primera y las demás gestaciones, vida productiva en el hato e intervalo parto primer estro, para genotipos con por lo menos 75% de genes BT. Este mismo autor encontró que la edad al primer estro y la edad al primer parto fueron similares para los genotipos de $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Cebú y $\frac{1}{2}$ Suizo Pardo $\frac{1}{2}$ Cebú. Así mismo, publicó que la producción de leche para el genotipo Holstein-Cebú fue consistentemente más alta que para el F₁ Suizo Pardo-Cebú. Los resultados encontrados por Hernández-Reyes *et al.* (2000) respaldan esta información.

Considerando lo antes mencionado, Vaccaro (1984) concluye que las cruza de Cebú con Holstein Friesian presentan mayores ventajas para utilizarse en los trópicos comparadas con las Cebú por Suizo Pardo. Sin embargo, Vite *et al.* (2004) no encontraron diferencia para estos mismos genotipos en variables de producción de leche. Finalmente, la mayoría de los estudios en los que se han comparado estos genotipos, ha sido en sistemas de producción intensivos y existe relativamente poca información disponible que compare estos cruzamientos en los sistemas de producción extensivos. La mayoría de los resultados se refieren a los cruzamientos de primera generación (F_1) y no a los diferentes encastes de razas europeas que existen en los trópicos, por lo que es necesario generar información con diferentes proporciones de genes BT y BI, de tal modo que se estime la proporción óptima de genes BT y BI, y que ayude en la elección de la mejor alternativa de cruzamiento sistemático. Syrstad (1988) observó en un resumen de varios ensayos, un buen comportamiento productivo para cruzamientos de primera generación (F_1) y el deterioro en la siguiente generación (F_2) y generaciones posteriores; la explicación más obvia a estos resultados es la presencia del vigor híbrido (heterosis), el cual es máximo en la F_1 y se reduce a la mitad en la F_2 . Este mismo autor, Syrstad, 1989, estimó el deterioro del comportamiento productivo de F_1 a F_2 , con disminuciones en la producción de leche por lactancia de 452 kg (24%) y en la duración de la lactancia de 12 días (4%).

Syrstad (1996) consideró que el cruzamiento rotacional puede ser la mejor manera de incrementar la producción de leche en los trópicos, sin embargo, éste depende de la introducción continua de sementales de ambas

razas parenterales, el hato puede consistir de dos o más razas y el rancho debe tener buena organización, recomendándose esta estrategia para hatos grandes, mientras que en hatos pequeños el uso de razas sintéticas puede ser la estrategia de cruzamiento que mejor funcione. Por otro lado, la selección de razas nativas para mejorar el comportamiento productivo en los trópicos presenta varios problemas, ya que las bajas tasas reproductivas y la alta mortalidad en la etapa de crianza reduce la intensidad de selección, y el intervalo entre generaciones (que de por sí es largo) se prolonga debido a la madurez sexual y el intervalo entre partos tardíos encontrados en las razas nativas. Además, los núcleos puros son relativamente pequeños y el problema principal es que no existen registros de producción (Syrstad y Ruane, 1998).

Dadas las limitaciones de la información disponible y las distintas variantes climáticas encontradas en los trópicos, resulta difícil proponer un sistema de cruzamiento único para las condiciones tropicales, lo que sí es posible, es que en la medida que los productores mejoren su sistema de manejo general del hato y dispongan de mejores instalaciones y equipo, podrán ir incrementando en su ganado la proporción de genes (50%, 62%, 75%) BT provenientes de razas especializadas para PL, sin demeritar su productividad.

Literatura citada

- Anta, J. E., A. Rivera, C. S. Galina, A. Porras y L. Zarco. 1994. Análisis de la información publicada en México sobre eficiencia reproductiva de los bovinos. III. Factores que la afectan. Memorias del Diplomado en Eficiencia Reproductiva en Bovinos Productores de Carne. FMVZ-UAT. Texas A&M University. pp: 126-129.
- Avendaño, J. 1997. Factores genéticos y ambientales que afectan los principales indicadores productivos y reproductivos en mestizos Holstein-

- Cebú y Pardo Suizo-Cebú. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 48 p.
- Badinga, L., R. J. Collier, W. W. Thatcher, and C. J. Wilcox. 1985. Effect of climatic and management factors on conception rate of dairy cattle in a subtropical environment. *J. Dairy Sci.* 68:78-89.
- Carvajal-Hernández, M., E. R. Valencia-Heredia y J. C. Segura-Correa. 2002. Duración de la lactancia y producción de leche de vacas Holstein en el estado de Yucatán, México. *Rev. Biomed.* 13:25-31.
- Casas, E. y A. Tewolde. 2001. Evaluación de las características relacionadas con la eficiencia reproductiva de genotipos criollos lecheros en el trópico húmedo. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 9:63-67.
- Collier, R. J., D. K. Beede, W. W. Thatcher, and C. J. Wilcox. 1982. Influence of environment and its modification on dairy animals health and production. *J. Dairy Sci.* 65:2213 (Abstr.).
- Enríquez, J. M., C. A. De la Rosa H. y R. Núñez D. 1989. Producción de leche y carne por cruzas Cebú-Holstein en trópico húmedo. *Revista Chapingo.* 65-66:34-37.
- Escobar, J. F., L. Carlos, S. Galina C. y S. Fernández B. 1984. Efecto del amamantamiento sobre la actividad reproductiva posparto en vacas Cebú, Criollas y F₁ (Cebú x Holstein) en el trópico de México. *Vet. Méx.* 15:243.
- Espinoza-García, J. A., J. A. Matus-Gardea, M. A. Martínez-Demián, M. J. Santiago-Cruz, H. Román-Ponce y L. Bucio-Alanis. 2000. Análisis económico de la tecnología bovina de doble propósito en Tabasco y Veracruz. *Agrociencia.* 34:651-661.
- Galavíz, J. R., G. Vázquez C., J. Ruiz F., L. Lagunas J., R. Calderón R. y H. Rosete J. 1998. Factores ambientales que afectan la curva de lactancia en vacas Suizo Pardo en clima subtropical. *Téc. Pec. Méx.* 36:163-171.
- Gómez, C. H. y A. Tewolde. 1999. Parámetros genéticos para producción de leche, evaluación de sementales y caracterización de fincas lecheras en el trópico húmedo de Costa Rica. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 7:19-37.
- Gómez, C. H., A. Tewolde M. y J. Nahed T. 2002. Análisis de los sistemas ganaderos de doble propósito en el centro de Chiapas, México. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 10:175-183.
- Hernández, H. V. D., G. A. Ortiz O, F. J. Juárez L. y R. Ponce H. 1989. Efecto de la ordeña dos veces al día sobre el comportamiento productivo de ganado cruzado de doble propósito en clima tropical húmedo (Am).

Memorias XXV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria; 1989, 12-14 Octubre. México, D. F. p. 191.

- Hernández-Reyes, E., V. M. Segura-Correa, J. C. Segura-Correa y M. M. Osorio-Arce. 2000. Intervalo entre partos, duración de la lactancia y producción de leche en un hato de doble propósito en Yucatán, México. *Agrociencia*. 35:699-705.
- Isea, W., R. Román, O. Araujo-Febres, R. Delgado y Y. Pérez. 1988. Índices reproductivos y producción de leche en vacas mestizas. V Congreso Venezolano de Zootecnia. Maracay. s/p.
- Jonsson, N. N., W. J. Fulkerson, P. M. Pepper, and M. R. McGowan. 1999. Effect of genetic merit and concentrate feeding on reproduction of grazing dairy cows in a subtropical environment. *J. Dairy Sci.* 82:2756-2765.
- Juárez, L. F. I., D. G. Fox, R. W. Blake, and, A. N. Pell. 1999. Evaluation of tropical grasses for milk production by dual-purpose cows in tropical México. *J. Dairy Sci.* 82:2136-2145.
- Koppel, R., E. T., A. Ortiz G., A. Ávila D., J. Lagunas L., G. Castañeda O., I. López G., U. Aguilar B., H. Román P., A. Villagómez J., R. Aguilera S., J. Quiroz V. y C. Calderon R. 1999. Manejo de ganado bovino de doble propósito en el trópico. INIFAP.CIRGOC. Libro Técnico Núm. 5. Veracruz, México. 158 p.
- López, J. y L. Vaccaro. 2002. Comportamiento productivo de cruces Holstein Friesian-Cebú comparados con pardo Suizo-Cebú en sistemas de doble propósito en tres zonas de Venezuela. *Zootecnia Tropical*. 20 (3):397-414.
- Lozano, C. A. y L. A. Maza O. 2002. Evaluación de ganado F₁ (Holstein-Sahiwal) en un sistema de doble propósito en el estado de Colima. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 41 p.
- Madalena, F. E. 2001. Consideraciones sobre modelos para la predicción del desempeño de cruzamientos en bovinos: Artículo invitado. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 9:108-117.
- Madalena, F. E., R. L. Teodoro, A. M. Lemos, J. B. N. Monteiro, and R. T. Barbosa. 1990. Evaluation of strategies for crossbreeding dairy cattle in Brazil. *J. Dairy Sci.* 73:1887-1901.
- McDowell, R. E. 1993. Animal genetic resources and sustainable production systems in Latin America. *In*: Simposio sobre los recursos genéticos animales en América Latina. ALPA/FAO/CATIE. Santiago, Chile.

- McDowell, R. E., J. C. Wilk, and C. W. Talbott. 1996. Economic viability of crosses of *Bos taurus* and *Bos indicus* for dairying in warm climates. *J. Dairy Sci.* 79:1292-1303.
- Ortiz, O. A. 1994. Ganado Lechero en Pastoreo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Folleto Técnico No. 2. División Pecuaria. Veracruz, Ver. 21 p.
- Osorio, A. M. 1998. Caracterización de los sistemas bovinos de doble propósito en el trópico. Observaciones sobre el comportamiento reproductivo de grupos raciales. Memoria IV Foro de Análisis de los Recursos Genéticos: Ganadería Bovina de Doble Propósito. 17-18 de septiembre de 1998, Villahermosa, Tab. SAGAR. pp: 8-22.
- Osorio-Arce, M., and J. C. Segura-Correa. 2002. Reproductive performance of dual-purpose cows in Yucatan México. *Livest. Res. for Rural Develop.* 14: (3). Online. Disponible en: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/3/Osor143.htm>. (Consultada el 7 de octubre de 2005).
- Osorio-Arce, M. y J. C. Segura-Correa. 2005. Factores que afectan la curva de lactancia de vacas *Bos taurus* x *Bos indicus* en un sistema de doble propósito en el trópico húmedo de tabasco, México. *Téc. Pec. Méx.* 43:127-137.
- Rege, J. E. O. 1998. Utilization of exotic germplasm for milk production in the tropics. *Proceedings of the 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production.* 25:193-201.
- Ríos-Utrera, A., V. E. Vega-Murillo, and M. Montaña-Bermúdez. 1994. Reproductive performance of Brahman, Indu-Brazil and F₁ crosses of Angus, Brown Swiss, Charolais and Hereford with Zebu. *Proc. 5th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod.* 20:383-386.
- Rivas L. y F. Holmann. 2002. Sistemas de doble propósito y su viabilidad en el contexto de los pequeños y medianos productores en América Latina Tropical. Curso Internacional de Actualización en el Manejo de Ganado Bovino de Doble Propósito. 21 de noviembre, 2002. Veracruz, México.
- Rivera, M. D., R. Núñez y S. Fernández. 1989. Comportamiento reproductivo y productivo de vacas Holstein-Cebú y Suizo Pardo-Cebú en un hato de doble propósito. *Revista Chapingo.* 65-66:31-33.
- Ruiz, R. J. M. y J. C. Avendaño M. 1989. Comportamiento de gramíneas tropicales en un jardín de introducción. *Revista Chapingo.* 65-66:5-9.

- Salgado, D. 1988. Índice de selección y su eficiencia para producción láctea en hatos lecheros bajo condiciones tropicales. Tesis Magister Scientiae. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Seré, C. S. 1996. World livestock production systems. Currents status, issues and trends. FAO, Anim. Prod. and Health Paper.127 p.
- Sheen, R. S. y A. Riesco D. 2002. Factores que afectan la producción de leche en vacas de doble propósito en trópico húmedo (PUCALLPA): Artículo invitado. Vet. Perú. 13:25-31.
- Silva, L. M., L. Granados Z. y F. Orozco L. 1989. Producción láctea y comportamiento reproductivo de un hato de doble propósito en la sabana de Huimanguillo, Tabasco. Memorias XXV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria; 1989, 12-14 Octubre. México, D. F. p. 191.
- Syrstad, O. 1988. Crossbreeding for increased milk production in the tropics. Norwegian Journal of Agricultural Sciences. 2:179-185.
- Syrstad, O. 1989. Dairy cattle cross-breeding in the tropics: performance of secondary cross-bred populations. Livest. Prod. Sci. 23:97-106.
- Syrstad, O. 1996. Dairy cattle crossbreeding in the tropics: choice of crossbreeding strategy. Trop. Anim. Health Prod. 28 (3):223-229.
- Syrstad, O., and J. Ruane. 1998. Prospects and strategies for genetic improvement of the dairy potential of tropical cattle by selection. Trop. Anim. Health Prod. 30 (4):257-268.
- Tadesse, M., and D. Tadelle. 2003. Milk production performance of Zebu, Holstein Friesian and their crosses in Ethiopia. Livest. Res. for Rural Develop. 15:(3). Online. Disponible en: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd15/3/Tade153.htm>. (Consultada el 7 de octubre de 2005).
- Teodoro, R. L., and F. E. Madalena. 2005. Evaluation of crosses of Holstein, Jersey or Brown Swiss sires x Holstein-Friesian/Gir dams. 3. Lifetime performance and economic evaluation. Genetics and Molecular Research. 4 (1): 84-93.
- Tewolde, A. 2005. Los criollos bovinos y los sistemas de producción animal en los trópicos de América Latina. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas, Méx. Online. Disponible en: <http://www.alpa.org.ve/ojs/viewarticle.php?id=228>. (Consultada el 7 de octubre de 2005).

- Teyer-Bobadilla, R., G. Magaña J., J. Santos y C. Aguilar. 2002. Comportamiento productivo y reproductivo de vacas Holstein manejadas en un sistema de lechería especializada y otra de doble propósito en el sureste de México. *Livest. Res. for Rural Develop.* 14: (4). Online. Disponible en: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/4/teye144.htm>. (Consultada el 7 de octubre de 2005).
- Thorpe, W., P. Kang'ethe, J. E. O. Rege, R. O. Mosi, B. A. J. Mwandotto, and P. Njuguna. 1993. Crossbreeding Ayrshire, Friesian, and Sahiwal cattle for milk yield and preweaning traits of progeny in the semiarid tropics of Kenya. *J. Dairy Sci.* 76: 2001-2012.
- Vaccaro, L. 1984. The comparative performance of Holstein Friesian and Brown Swiss breeds in crosses with tropical cattle: a review of the literature. *Trop. Anim. Prod.* 9:86-94.
- Vaccaro, L., A. Pérez, and R. Vaccaro. 1999. Productive performance of F₁ compared with other 50% European-Zebu crossbred cows for dual purpose systems in the Venezuelan tropics. *Livest. Res. for Rural Develop.* 11: (1).
- Vieira de Sa, F. 1965. *Lechería Tropical*. Unión Tipográfica. Editorial Hispanoamericana. 348 p.
- Villa-Godoy, A. y A. Villagómez E. 2000. Influencia de la dieta y el amamantamiento en el balance energético, la condición corporal, la producción láctea, el metabolismo y el desempeño reproductivo en vacas de doble propósito. En *Curso Internacional de Reproducción Bovina*. UNAM, México. pp: 167-215.
- Villegas-Carrasco, M. C. y H. Román-Ponce. 1986. Producción de leche durante el proceso de formación de un rancho de doble propósito en el trópico. *Téc. Pec. Méx.* 51: 51-61.
- Vite, C. C., R. López O., J. G. García M., R. Ramírez V., A. Ruiz F. y R. López. O. 2004. Producción de leche y comportamiento reproductivo de vacas doble propósito que consumen forrajes tropicales y concentrados. Artículo aceptado para su publicación en la revista *Veterinaria México*.
- Wadsworth, J. 1992. Dual purpose cattle production: a system overview. In: *Dual purpose cattle production research*. S. Anderson and J. Wadsworth ed. *Internacional Workshop. IFS-FMVZ-UADY*. Mérida, México. pp. 2-27.
- Wood, P. D. P. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature*. 216:164-165.

CAPÍTULO III

PRODUCCIÓN DE LECHE DE VACAS CON DIFERENTE PORCENTAJE DE GENES *BOS TAURUS* EN EL TRÓPICO MEXICANO

MILK YIELD OF CROSSBRED COWS WITH DIFFERENT PERCENTAGES OF *BOS TAURUS* GENES IN TROPICAL MEXICO

Rafael García Carreón¹,

Rufino López Ordaz¹,

José Guadalupe García Muñiz¹,

Rodolfo Ramírez Valverde¹.

*Trabajo de tesis de maestría del primer autor.

¹Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5,
Carretera México-Texcoco, Chapingo, 56230, Estado de México, México.

E-mail: produccionanimal@correo.chapingo.mx

Resumen

El objetivo fue determinar el porcentaje óptimo de genes *Bos taurus* (BT) para características relacionadas con la lactancia de vacas cruzadas. La información analizada provino de un sistema de producción de leche (PL) en el trópico mexicano y consistió de 1,220 lactancias completas, provenientes de 507 vacas con diferentes porcentajes de genes BT y *Bos indicus* (BI), fluctuando desde BI puras hasta 1/8BI 7/8BT. Las variables estudiadas incluyeron la PL por lactancia (PTL), por vaca por día (PLD), por día de intervalo entre partos (PLIEP), PL al pico de lactancia (PLP), PL al secado (PLS), por día de vida en el hato (PLDVH), duración de la lactancia (DL), los días al pico de lactancia (DP) y la persistencia (P). Se ajustó un modelo mixto que incluyó los efectos fijos de número, año y estación de parto y los efectos aleatorios de semental y vaca anidada en semental; el porcentaje de genes BT se introdujo como covariable. La PTL y PLD alcanzaron su valor máximo (2,898.3, 9.8 kg, respectivamente) con porcentajes de genes BT de 78.0 y 70.3%, respectivamente. Los genotipos con 61 o 50% de genes BT tuvieron PLIEP y PLDVH (6.9 y 2.3 kg, respectivamente) más altas ($P < 0.05$) que cualquiera de los genotipos con otros porcentajes de genes BT. La DL fue mayor (322 d) para vacas con 83.4% de genes BT. En las condiciones tropicales en que se desarrolló el estudio, los genotipos con porcentajes de genes BT entre 50 y 80%, mostraron un comportamiento superior en la mayoría de las variables relacionadas con PL. Lo anterior sugiere la utilización de sistemas de cruzamiento que se aproximen a los porcentajes de genes BT indicados.

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

Abstract

The objective of the research was to determine the optimum percentage of *Bos taurus* (BT) genes for traits related to lactation performance of crossbred cows. One thousand two hundred and twenty full lactations from 507 cows with different percentage of BT and *Bos indicus* (BI) genes, ranging from purebred BI to 1/8BI 7/8BT, were analyzed at a milk production system in tropical Mexico. Variables analyzed included milk yield (MY) per lactation (MYL), MY per day of lactation (MYD), MY per day of calving interval (MYCI), peak MY (PMY), MY at drying off (MYDO), MY per day of stay in the herd (MYDS), lactation length (LL), days at peak MY (DPMY), and lactation persistency (LP). A mixed model that included the fixed effects of number, year and calving season, the random effects of sire and cow within sire, and the percentage of BT genes as a covariate was fit. Both, MYL and MYD reached a maximum (2,898.3, 9.8 kg, respectively) with 78.0% and 70.3% BT genes, respectively. Both, MYCI (6.9 kg) and MYDS (2.3 kg) were higher ($P < 0.05$) in cows with 61% or 50% BT genes than in cows with any other percentage of BT genes. Cows with 83.4% BT genes had the longest LL (322 d). Under the tropical conditions of this study, cows with percent of BT genes between 50% and 80% showed superior performance for most MY-related variables. This suggests using crossbreeding systems that best achieve the specified percentage of BT genes.

KEY WORDS: Crossbreeding, Tropical cattle, Milk yield.

Introducción

El área tropical de México dedicada a la producción pecuaria es de aproximadamente 18'952,300 hectáreas (37% del área tropical), donde pastorean aproximadamente 12 millones de bovinos que producen el 28 y 39 % de la leche y carne que se consume en México, respectivamente. La mayor parte de dichos productos proviene de los 3'900,000 vacas que se explotan bajo el sistema de doble propósito (SDP, Koppel *et al.*, 1999).

Una de las alternativas mediante las cuales se puede incrementar la producción de leche (PL) en el trópico, es mediante el cruzamiento de animales adaptados a condiciones tropicales (*Bos indicus*, BI) con razas lecheras europeas especializadas (*Bos taurus*, BT). Varios estudios han confirmado las ventajas del uso de animales *Bos taurus-Bos indicus* en condiciones tropicales (Osorio-Arce y Segura-Correa, 2002; Juárez *et al.*, 1999; Carvajal-Hernández *et al.*, 2002). Sin embargo, la información disponible relacionada con los diferentes cruzamientos, proviene principalmente de hatos pequeños, con pocos genotipos y analizando una o dos características productivas (López y Vaccaro, 2002). Por lo anterior, es necesario generar información con animales de diferentes proporciones de genes BT y BI, de tal modo que permita conocer la proporción óptima de genes BT y BI, y ayude en la elección de la mejor alternativa de cruzamiento sistemático.

En el estado de Tabasco en México (zona tropical), se encuentra una explotación para producción de leche que utiliza vacas con diferentes proporciones de genes BT y BI, con ordeño mecánico (am y pm) sin la presencia del becerro, uso de oxitocina, crianza artificial de los terneros y

suplementación con concentrados durante el ordeño. Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar la proporción óptima de genes BT y BI para características relacionadas con la lactancia en un sistema para producción de leche en el trópico mexicano.

Materiales y métodos

Origen y descripción de la información

La información del presente estudio proviene del rancho "La Carolina", ubicado en el municipio de Centro, Tabasco. Dicho municipio se encuentra ubicado entre los paralelos 18° 20' de latitud norte y 93° 15' de longitud oeste. De acuerdo con García (1981), el clima es tipo Am(f)w''(i')g, que corresponde a un cálido-húmedo con lluvias abundantes en verano, con una temperatura media anual de 33.6 °C, siendo la máxima media mensual en mayo con 29.8 °C, y la mínima media mensual en diciembre y enero con 22.8 °C, el régimen de lluvia se caracteriza por una precipitación promedio de 2,237 mm anuales.

El rancho cuenta con una superficie de 361 hectáreas, de las cuales 290 son potreros y 71 son cuerpos de agua. El 80% de la superficie del rancho son lomeríos con suelo arcillo-arenoso ferroso ligeramente ácido y el 20% restante son planicies con suelo migajón arcillo-arenoso ligeramente alcalino.

El presente estudio se realizó con datos obtenidos entre 1999 y 2004, en vacas de una a 12 lactancias. El total de vacas y sus lactancias completas fue de 507 y 1,220, respectivamente. Se consideró lactancia completa cuando se tuvieron por lo menos seis registros de producción de leche por vaca tomados a intervalos semanales después del parto y hasta su secado.

El genotipo del padre, la madre y la vaca, así como el porcentaje de heterosis y la proporción de genes BT y BI de las vacas consideradas y sus progenitores se muestran en el Cuadro 1. Las lactancias utilizadas provinieron de vacas con diferentes proporciones de genes BT y BI, fluctuando desde BI puras hasta 1/8BI 7/8BT. Los genotipos con mayor cantidad de observaciones (83%) fueron 1/4BT 3/4BI (26.7% de las lactancias, con 90% de éstas provenientes del apareamiento de raza pura con 1/2BT 1/2BI), 3/8BT 5/8BI (10% de las lactancias, con 75% de éstas provenientes del apareamiento de raza pura con 3/4BT 1/4BI), 1/2BT 1/2BI (34.8% de las lactancias, con 73% de éstas provenientes del apareamiento entre animales de raza pura BT y BI), y 5/8BT 3/8BI (11.3% de las lactancias, con 67% de éstas provenientes del apareamiento entre 1/2BT 1/2BI con 3/4BT 1/4BI).

Los genotipos conteniendo genes BI, en su mayoría fueron de la raza Gyr (en promedio el 80% fue Gyr y el 20% restante Brahman e Indobrasil); mientras que los BT en su mayoría fueron Hosltein (en promedio el 60% fue Holstein, 20% Simmental, y el 20% restante Suizo Pardo y Jersey).

La heterosis de la vaca indicada en el Cuadro 1 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 5/8BT 3/8BI y la madre es 3/8BT 5/8BI, la heterosis de la vaca es:

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

Cuadro 1. Genotipo del padre, madre y vaca, porcentaje de heterosis y de genes BT en la vaca, y número de vacas y lactancias utilizadas en el estudio.

Genotipo ¹			% Heterosis (vaca)	% Genes BT (vaca)	No. Vacas	No. Lactancias
Padre	Madre	Vaca				
BI	BI	BI	0	0	20	52
1/4BT	BI	1/8BT	25	12.5	1	1
BI	1/4BT	1/8BT	25	12.5	6	15
1/4BT	1/8BT	3/16BT	31.3	18.75	2	3
BI	3/8BT	3/16BT	37.5	18.75	4	13
1/2BT	BI	1/4BT	50	25	24	44
1/4BT	1/4BT	1/4BT	56.3	25	15	31
BI	1/2BT	1/4BT	50	25	94	251
1/2BT	1/8BT	5/16BT	50	31.25	1	2
1/4BT	3/8BT	5/16BT	43.8	31.25	5	7
5/8BT	BI	5/16BT	62.5	31.25	1	1
BI	5/8BT	5/16BT	62.5	31.25	15	33
1/4BT	7/16BT	11/32BT	46.9	34.375	1	2
1/2BT	1/4BT	3/8BT	50	37.5	7	12
1/4BT	1/2BT	3/8BT	50	37.5	9	16
3/4BT	BI	3/8BT	75	37.5	12	37
BI	3/4BT	3/8BT	75	37.5	18	54
5/8BT	1/8BT	3/8BT	59.4	37.5	9	3
5/8BT	3/16BT	13/32BT	57.8	40.625	1	2
1/2BT	3/8BT	7/16BT	50	43.75	3	5
1/4BT	5/8BT	7/16BT	56.3	43.75	1	1
5/8BT	1/4BT	7/16BT	56.3	43.75	4	5
5/8BT	5/16BT	15/32BT	54.7	46.875	1	1
1/2BT	1/2BT	1/2BT	25	50	37	85
1/4BT	3/4BT	1/2BT	62.5	50	7	12
3/4BT	1/4BT	1/2BT	62.5	50	10	17
5/8BT	3/8BT	1/2BT	53.1	50	1	1
BT	BI	F ₁	100	50	94	301
BI	BT	F ₁	100	50	3	8
1/2BT	9/16BT	17/32BT	50	53.125	1	1
1/2BT	5/8BT	9/16BT	50	56.25	1	1
5/8BT	1/2BT	9/16BT	50	56.25	3	3
3/4BT	3/8BT	9/16BT	56.3	56.25	3	7
1/2BT	3/4BT	5/8BT	50	62.5	6	10
3/4BT	1/2BT	5/8BT	50	62.5	35	83
1/4BT	BT	5/8BT	75	62.5	2	4
BT	1/4BT	5/8BT	75	62.5	17	34
5/8BT	5/8BT	5/8BT	46.9	62.5	6	7
5/8BT	11/16BT	21/32BT	45.3	65.625	1	1
3/4BT	5/8BT	11/16BT	43.8	68.75	3	6
BT	3/8BT	11/16BT	62.5	68.75	6	13
3/4BT	3/4BT	3/4BT	37.5	75	3	7
BT	1/2BT	3/4BT	50	75	12	26
3/4BT	BT	7/8BT	25	87.5	1	1
BT	3/4BT	7/8BT	25	87.5	1	1
Total					507	1220

¹BI = *Bos indicus*; BT = *Bos taurus*.

Alimentación, ordeño y reproducción

La base de la alimentación es el pastoreo en franjas de gramas tropicales con asignación diaria y utilizando cerco eléctrico. Las praderas utilizadas incluyeron los pastos: *Paspalum spp* (camalote, remolino), *Homolepsis spp* (grama amarga) y *Cynodon spp* (bermudas). Para vacas lactantes, el pastoreo es apoyado con la asignación de 1.0 kg de concentrado comercial (16% PC) durante el ordeño de la mañana y 1.0 kg durante el ordeño de la tarde.

El sistema de ordeño es mecánico, en una sala en paralelo con 16 plazas y pesadores individuales de leche tipo Waikato®. Las vacas ingresan a la línea de ordeño al segundo día después del parto. El ordeño se realiza dos veces al día (5:00 am y 1:30 pm), sin la presencia del becerro y con la ayuda de 0.25 mL de oxitocina (OXIPAR). El criterio principal de secado es el nivel de producción, y éste se realiza cuando las vacas están produciendo entre dos y cinco kg de leche por día.

El manejo reproductivo del hato consiste en dos empadres controlados, con el uso de inseminación artificial (57%) y monta natural (43%). En esta explotación el productor desea tener vacas con alrededor de 62.5% de genes BT, de tal manera que con base en la proporción de genes BT de la vaca, se le asigna un semental que mantenga o lleve a la siguiente cría cercano a la proporción de genes BT antes indicada. El primer empadre se realiza en los meses de marzo y abril, y el segundo en el mes de junio, con una duración de aproximadamente un mes, las hembras se agrupan en lotes de vacas y vaquillas, y se les asignan los sementales.

Variables de respuesta

La información de producción de leche diaria por vaca (ordeño de la mañana más ordeño de la tarde) se utilizó para generar las variables siguientes:

a) producción total de leche (PTL), b) producción de leche por día de ordeño (PLD), c) producción de leche por día de intervalo entre partos (PLIEP), d) producción de leche al pico de lactancia (PLP), e) producción de leche al día de secado (PLS), f) producción de leche por día de vida en el hato (PLDVH), g) duración de la lactancia (DL), h) días al pico (DP), e i) persistencia (P).

La PTL se estimó utilizando el método de interpolación lineal propuesto por el ICAR (ICAR, 1995) utilizando la ecuación siguiente:

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

Donde:

I_0 = Intervalo en días, entre la fecha de parto y la fecha del primer registro de PL.

$M_1, M_2, \dots, M_n$ = Los registros en kg de la leche producida en el día de registro.

$I_1, I_2, \dots, I_{n-1}$ = Los intervalos en días, entre las fechas de registro de PL.

I_n = Intervalo en días, entre la última fecha de registro de PL y la fecha de secado.

La PLD se calculó dividiendo la PTL entre el largo de lactancia. La PLIEP se calculó dividiendo la PTL entre el intervalo entre partos (IEP). El IEP se estimó como la diferencia en días entre las fechas de parto consecutivos. La PLP se estimó como la máxima producción predicha por el método del ICAR. La PLS corresponde a la PL que se registró al momento del secado. La PLDVH se

obtuvo de la manera siguiente: para cada animal se sumó la PTL de cada lactancia que registró de manera consecutiva a partir de la primera y hasta la última que tuviera para obtener un acumulado de producción, el cual se dividió entre los días de permanencia del animal en el hato, estos días se calcularon como el intervalo en días entre la fecha de su nacimiento y la fecha de secado de su última lactancia consecutiva. La DL se generó como el intervalo en días entre las fechas de parto y secado de cada lactancia. Debido a que la metodología del ICAR proporciona un intervalo de días, los DP se calcularon como el promedio entre el límite inferior y superior en donde se estimó la máxima producción. La P se calculó dividiendo la PLS por 100 entre la PLP.

En el Cuadro 2 se presentan los estadísticos descriptivos de los datos, como el número de lactancias analizadas para cada variable, el valor de la media, máximo y mínimo, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Análisis estadístico

Para las variables de respuesta PTL, PLD, PLIEP, PLP, PLS, DL, DP y P, el modelo incluyó los efectos fijos de número, año y estación de parto, además de las interacciones dobles y la proporción de genes BT como covariable. El número de parto consideró 1, 2, 3, 4 y 5⁺; el año de parto consideró los años 1999, 2000, 2001, 2002, 2003 y 2004; en algunas variables (PLD, PLIEP, PLS, DL y P) el año 2004 se agrupó con 2003 por existir pocas observaciones. La estación de parto se dividió en lluvias (1, junio-diciembre) y secas (2, enero-mayo).

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de las variables analizadas.

Variable ¹	n	Media	Máximo	Mínimo	DevStd	CV
PTL	1220	2529.9	8134.9	116.6	1264.8	50.0
PLD	1078	8.9	20.3	1.4	2.5	28.5
PLIEP	705	6.1	12.6	0.4	2.4	39.8
PLP	1220	13.3	24.9	3.6	3.6	26.8
PLS	1078	5.2	12.7	0.0	2.2	42.7
PLDVH	293	2.5	9.5	0.2	1.4	54.4
DL	1078	278.4	685.0	49	113.3	40.7
DP	1220	36.7	196.0	2.0	37.9	103.0
P	1078	40.9	101.8	0.0	17.3	42.1

¹ PTL = producción total de leche (kg/vaca/lactancia); PLD = producción de leche por día (kg/vaca); PLIEP = producción de leche por día de intervalo entre partos (kg/vaca); PLP = producción de leche al día de máxima producción (kg/vaca); PLS = producción de leche al día del secado (kg/vaca); PLDVH = producción de leche por día de vida en el hato (kg/vaca); DL = duración de la lactancia (días); DP = días al pico de producción de leche y P = persistencia (%).

El análisis de las variables de respuesta antes mencionadas, se realizó utilizando el procedimiento MIXED de SAS (SAS, 2001), ajustándose el modelo siguiente:

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

Donde:

Y_{ijklmn} es cada una de las variables de respuesta modeladas (PTL, PLD, PLIEP, PLP, PLS, DL, DP y P),

μ es la media general,

NP_i es el efecto fijo del i -ésimo número de parto de la vaca ($i = 1, \dots, 5$),
 AP_j es el efecto fijo del j -ésimo año de parto de la vaca ($j = 1, \dots, 6$),
 EP_k es el efecto fijo de la k -ésima estación de parto de la vaca ($k = 1, 2$),
 $PADRE_l$ es el efecto aleatorio del l -ésimo padre ($l = 1, \dots, 101$) $\sim NI(0, \sigma_p^2)$,
 $VACA(PADRE)_{lm}$ es el efecto aleatorio de la m -ésima vaca anidada en el l -ésimo semental $\sim NI(0, \sigma_{V(P)}^2)$,
 $PCTGEU$ es el porcentaje de genes de razas BT como covariable,
 b_1 y b_2 son los coeficientes de regresión lineal y cuadrático asociados con el porcentaje de genes de razas BT,
 μ_{PCTGEU} es la media estimada de la covariable porcentaje de genes de razas BT, y
 e_{ijklmn} es el error aleatorio $\sim NI(0, \sigma_e^2)$.

Para cada variable las interacciones de primer orden no significativas ($P > 0.05$) se removieron del modelo final. Para los efectos principales y las interacciones significativas, las medias de cuadrados mínimos se obtuvieron con el enunciado LSMEANS (SAS, 2001) y se compararon utilizando la prueba de Tukey. Para la covariable PCTGEU se obtuvieron los estimadores insesgados de los coeficientes de regresión respectivos. Las soluciones de los efectos fijos de los análisis de varianza se utilizaron para obtener los interceptos de las ecuaciones de regresión para graficar las covariables significativas.

Para el análisis de la variable PLDVH, el modelo incluyó los efectos fijos de año y estación de nacimiento, además de las interacciones dobles. El año de nacimiento consideró los años 1996, 1997, 1998, 1999, 2000 y 2001. La

estación de nacimiento se dividió en lluvias (1, junio-septiembre) y secas (2, enero-mayo). El análisis de esta variable de respuesta, se realizó utilizando el procedimiento MIXED de SAS (SAS, 2001), ajustándose el modelo siguiente:

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

Donde:

Y_{ijk} es la observación de la variable de respuesta (PLDVH),

μ es la media general,

AN_i es el efecto fijo del i -ésimo año de nacimiento de la vaca ($i = 1, \dots, 6$),

EN_j es el efecto fijo de la j -ésima estación de nacimiento de la vaca ($j = 1, 2$),

$PADRE_k$ es el efecto aleatorio del k -ésimo padre ($k = 1, \dots, 57$) $\sim NI(0, \sigma_p^2)$,

PCTGEU es el porcentaje de genes de razas BT como covariable,

b_1 y b_2 son los coeficientes de regresión lineal y cuadrático asociados con el porcentaje de genes de razas BT,

$\bar{\mu}_{PCTGEU}$ es la media estimada de la covariable porcentaje de genes de razas BT, y

e_{ijkl} es el error aleatorio $\sim NI(0, \sigma_e^2)$.

Para esta variable, las interacciones de primer orden y covariables no significativas se removieron del modelo final. Para los efectos principales y las interacciones significativas, las medias de cuadrados mínimos se obtuvieron con el enunciado LSMEANS (SAS, 2001) y se compararon utilizando la prueba de Tukey. Para la covariable PCTGEU se obtuvieron los estimadores insesgados de los coeficientes de regresión respectivos. Las soluciones de los

efectos fijos del análisis de varianza se utilizaron para obtener el intercepto de las ecuaciones de regresión para graficar el efecto de la covariable PCTGEU en la PLDVH.

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

Resultados

El nivel de significancia para efectos principales, interacciones de primer orden y covariables para las diferentes variables evaluadas se presentan en el Cuadro 3. En general, se observaron efectos lineales y cuadráticos ($P < 0.05$) de la covariable porcentaje de genes BT. Varias de las interacciones entre efectos principales fueron significativas ($P < 0.05$); sin embargo, dado que la mayoría son de naturaleza aleatoria y no repetible (con año de parto o de nacimiento), los resultados se centraron sólo en los efectos principales.

Efectos ambientales

Con la excepción de la duración de la lactancia y los días al pico de lactancia, en las demás variables estudiadas el número de parto influyó ($P < 0.05$) en la respuesta observada. La PTL, PLD, PLIEP, PLP y PLS incrementaron conforme el número de parto aumentó (Cuadro 4). Los incrementos entre el primer y quinto o más partos para PTL, PLD, PLIEP, PLP y PLS, fueron 28.9, 34.2, 44.9, 31.2 y 9.8%, respectivamente. La DL y DP no fueron afectadas ($P > 0.05$) por el NP, estimándose valores promedio de 269 y

Cuadro 3. Nivel de significancia (probabilidad) de los efectos principales, interacciones de primer orden y covariables para las diferentes variables evaluadas.

Efecto ¹	Variables de respuesta ²									
	PTL	PLD	PLIEP	PLP	PLS	PLDVH	DL	DP	P	
NP	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0447		0.3876	0.1753	<.0001	
AP	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	
EP	0.6482	0.2566	0.2279	0.267	<.0001		0.4906	0.0363	0.0003	
NP*AP	-----	<.0001	0.0149	0.0001	<.0001		0.0056	-----	0.0138	
NP*EP	-----	0.0100	-----	-----	-----		-----	-----	-----	
AP*EP	<.0001	0.0424	0.0452	<.0001	<.0001		<.0001	0.0002	<.0001	
PCTGEU (Lineal)	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0051	<.0001	-----	0.0343	
PCTGEU (Cuadrático)	0.0057	0.0002	0.0001	<.0001	-----	0.0205	0.0183	-----	0.0195	
AN						<.0001				
EN						0.5002				

¹ NP = Número de parto; AP = Año de parto; EP = Estación de parto; PCTGEU = Covariable porcentaje de genes *Bos Taurus* en forma lineal y cuadrática; AN = Año de nacimiento y EN = Estación de nacimiento.

² PTL = producción total de leche (kg/vaca/lactancia); PLD = producción de leche por día (kg/vaca); PLIEP = producción de leche por día de intervalo entre partos (kg/vaca); PLP = producción de leche al día de máxima producción (kg/vaca); PLS = producción de leche al día del secado (kg/vaca); PLDVH = producción de leche por día de vida en el hato (kg/vaca); DL = duración de la lactancia (días); DP = días al pico de producción de leche y P = persistencia (%).

Cuadro 4. Medias de cuadrados mínimos ($\pm$ error estándar) para las variables estudiadas.

Efecto ²	Variables de respuesta ¹									
	PTL	PLD	PLIEP	PLP	PLS	DL	DP	P		
Número de Parto										
1	2024 $\pm$ 107 ^a	7.3 $\pm$ 0.17 ^a	4.9 $\pm$ 0.25 ^a	10.9 $\pm$ 0.28 ^a	5.1 $\pm$ 0.14 ^a	278 $\pm$ 8 ^a	36 $\pm$ 4 ^a	50 $\pm$ 1 ^b		
2	2293 $\pm$ 106 ^b	8.5 $\pm$ 0.17 ^b	6.0 $\pm$ 0.25 ^b	12.7 $\pm$ 0.27 ^b	5.3 $\pm$ 0.14 ^{ab}	275 $\pm$ 9 ^a	31 $\pm$ 4 ^a	43 $\pm$ 1 ^a		
3	2426 $\pm$ 106 ^{bc}	9.2 $\pm$ 0.20 ^c	6.5 $\pm$ 0.27 ^{bc}	13.6 $\pm$ 0.27 ^c	5.4 $\pm$ 0.17 ^{ab}	272 $\pm$ 10 ^a	29 $\pm$ 4 ^a	40 $\pm$ 1 ^a		
4	2545 $\pm$ 113 ^c	9.8 $\pm$ 0.21 ^c	6.8 $\pm$ 0.31 ^c	14.0 $\pm$ 0.30 ^{cd}	5.6 $\pm$ 0.19 ^b	259 $\pm$ 11 ^a	29 $\pm$ 4 ^a	39 $\pm$ 1 ^a		
5	2610 $\pm$ 110 ^c	9.8 $\pm$ 0.17 ^c	7.1 $\pm$ 0.26 ^c	14.3 $\pm$ 0.28 ^d	5.6 $\pm$ 0.14 ^b	260 $\pm$ 9 ^a	31 $\pm$ 4 ^a	39 $\pm$ 1 ^a		
Año de parto										
1999	1514 $\pm$ 86 ^a	6.4 $\pm$ 0.15 ^a	3.9 $\pm$ 0.19 ^a	10.8 $\pm$ 0.24 ^a	3.3 $\pm$ 0.15 ^a	222 $\pm$ 9 ^a	15 $\pm$ 3 ^a	30 $\pm$ 1 ^a		
2004	1775 $\pm$ 410 ^{ab}			13.8 $\pm$ 0.97 ^c			21 $\pm$ 17 ^{ab}			
2003	2558 $\pm$ 85 ^b	9.6 $\pm$ 0.18 ^c	8.1 $\pm$ 0.86 ^c	13.7 $\pm$ 0.23 ^c	6.0 $\pm$ 0.18 ^b	247 $\pm$ 10 ^{ab}	38 $\pm$ 3 ^b	46 $\pm$ 1 ^b		
2002	2762 $\pm$ 148 ^{bc}	9.9 $\pm$ 0.28 ^{cd}	6.4 $\pm$ 0.29 ^{bc}	14.3 $\pm$ 0.36 ^c	5.7 $\pm$ 0.31 ^b	280 $\pm$ 17 ^{bc}	25 $\pm$ 6 ^{ab}	40 $\pm$ 2 ^b		
2000	2825 $\pm$ 88 ^{bc}	8.4 $\pm$ 0.16 ^b	5.9 $\pm$ 0.19 ^b	11.6 $\pm$ 0.24 ^b	5.4 $\pm$ 0.16 ^b	325 $\pm$ 9 ^c	58 $\pm$ 3 ^c	47 $\pm$ 1 ^b		
2001	2844 $\pm$ 92 ^c	10.3 $\pm$ 0.17 ^d	7.0 $\pm$ 0.27 ^c	14.2 $\pm$ 0.25 ^c	6.7 $\pm$ 0.18 ^c	271 $\pm$ 10 ^b	31 $\pm$ 3 ^b	47 $\pm$ 1 ^b		
Estación de parto										
Lluvias	2345 $\pm$ 157 ^a	9.0 $\pm$ 0.17 ^a	6.5 $\pm$ 0.39 ^a	12.9 $\pm$ 0.38 ^a	5.8 $\pm$ 0.17 ^b	266 $\pm$ 10 ^a	25 $\pm$ 6 ^a	45 $\pm$ 1 ^b		
Secas	2414 $\pm$ 63 ^a	8.8 $\pm$ 0.11 ^a	6.1 $\pm$ 0.13 ^a	13.3 $\pm$ 0.18 ^a	5.0 $\pm$ 0.08 ^a	272 $\pm$ 5 ^a	38 $\pm$ 1 ^b	40 $\pm$ 1 ^a		

¹ PTL = producción total de leche (kg/vaca/lactancia); PLD = producción de leche por día (kg/vaca); PLIEP = producción de leche por día de intervalo entre partos (kg/vaca); PLP = producción de leche al día de máxima producción (kg/vaca); PLS = producción de leche al día del secado (kg/vaca); PLDVH = producción de leche por día de vida en el hato (kg/vaca); DL = duración de la lactancia (días); DP = días al pico de producción de leche y P = persistencia (%).

² Medias con diferente literal dentro de columna y efecto son diferentes ($P < 0.05$; Tukey).

31 d, respectivamente. La P en el primer parto fue mayor (50%, $P < 0.05$) que la de los otros números de partos (43, 40, 39 y 39% para segundo, tercer, cuarto y quinto o más partos, respectivamente), sin existir diferencias entre estos últimos ($P > 0.05$).

El año de parto tuvo efecto ($P < 0.05$) en la respuesta observada en todas las variables estudiadas (Cuadro 4). Los incrementos en el año 2001 con respecto al año 1999 en PTL, PLD, PLP y PLS fueron 87.0, 60.9, 31.5 y 103%, respectivamente. La PLIEP fue mayor ($P < 0.05$) en 108% en el año 2003 con respecto del año 1991. La DL y los DP en el año 2000 con respecto al año 1999, fueron mayores ($P < 0.05$) en 103 y 43 d, respectivamente. La P en el año 1999 fue menor (30%, $P < 0.05$) que la de los otros años (46, 40, 47 y 47% para 2003, 2002, 2000 y 2001, respectivamente), sin existir diferencias entre estos últimos ($P > 0.05$).

En general, los resultados muestran que el año 1999 presentó los valores más bajos en todas las variables estudiadas, lo cual indica que las condiciones ambientales predominantes durante ese año fueron muy diferentes a las de los otros años.

Con la excepción de la PLS, DP y P, en las demás variables estudiadas la estación de parto no influyó ($P > 0.05$) en la respuesta observada (Cuadro 4). La PLS fue mayor ($P < 0.05$) en 16% durante la época de lluvias. Los DP fueron menores ($P < 0.05$) en 13 d durante la época de lluvias y la P fue mayor ($P < 0.05$)

durante la época de lluvias que durante la época de secas (45 y 40%, respectivamente).

En general, los resultados muestran que la estación de parto denominada como lluvias presentó los mejores valores para las variables en las que tuvo efecto. La PTL, PLD, PLIEP, PLP y la DL no fueron afectadas ($P > 0.05$) por la EP, estimándose valores promedio de 2380, 8.9, 6.3, 13.1 kg y 269 d, respectivamente.

La PLDVH sólo se vio influenciada ($P < 0.05$) por el año de nacimiento de la vaca. Los incrementos en los años 1996, 1997, 1998 y 1999 con respecto al año 2001 fueron 123, 109, 100 y 72%, respectivamente, sin existir diferencias entre estos últimos ($P > 0.05$). La PLDVH no fue afectada ($P > 0.05$) por la EN, estimándose un valor promedio de 2.23 kg.

Efectos del porcentaje de genes *Bos taurus*

La Figura 1 muestra el efecto lineal y cuadrático que tuvo la covariable PCTGEU sobre la PTL. En general, a medida que el porcentaje de genes BT aumentó, la producción de leche por lactancia se incrementó, observándose la mayor producción (2,898 kg) con 78.0% de genes BT, la cual fue mayor en 183.8, 42.7, 9.1, 2.6 y 0.1% para porcentajes de genes BT de 0, 25, 50, 62.5 y 75%, respectivamente.

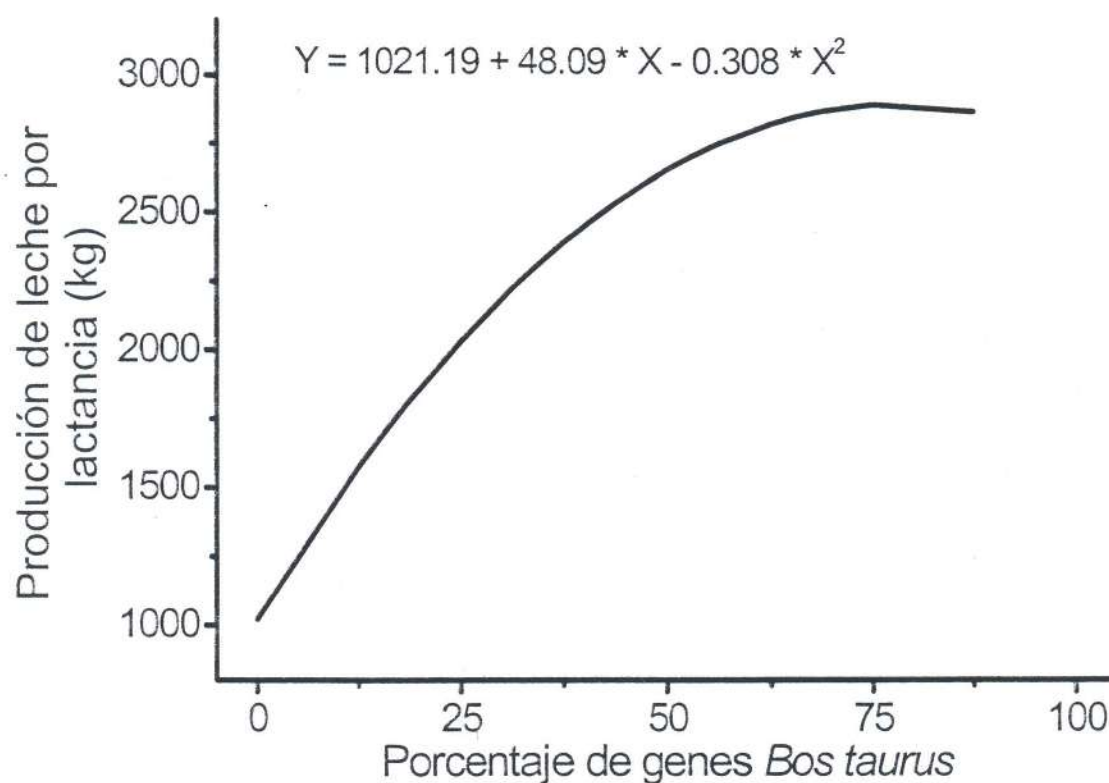


Figura 1. Efecto del porcentaje de genes *Bos taurus* sobre la producción total de leche de vacas en condiciones tropicales.

En la Figura 2 se observa el efecto lineal y cuadrático que presentó la covariable PCTGEU sobre la PLD. En general, la PLD se incrementó a medida que el porcentaje de genes BT aumentó, llegando a su valor más alto (9.8 kg) con 70.3% de genes BT, el cual fue mayor que los porcentajes de genes BT de 0, 25, 50, 62.5 y 75% en 47.9, 15.6, 2.8, 0.5 y 0.2%, respectivamente.

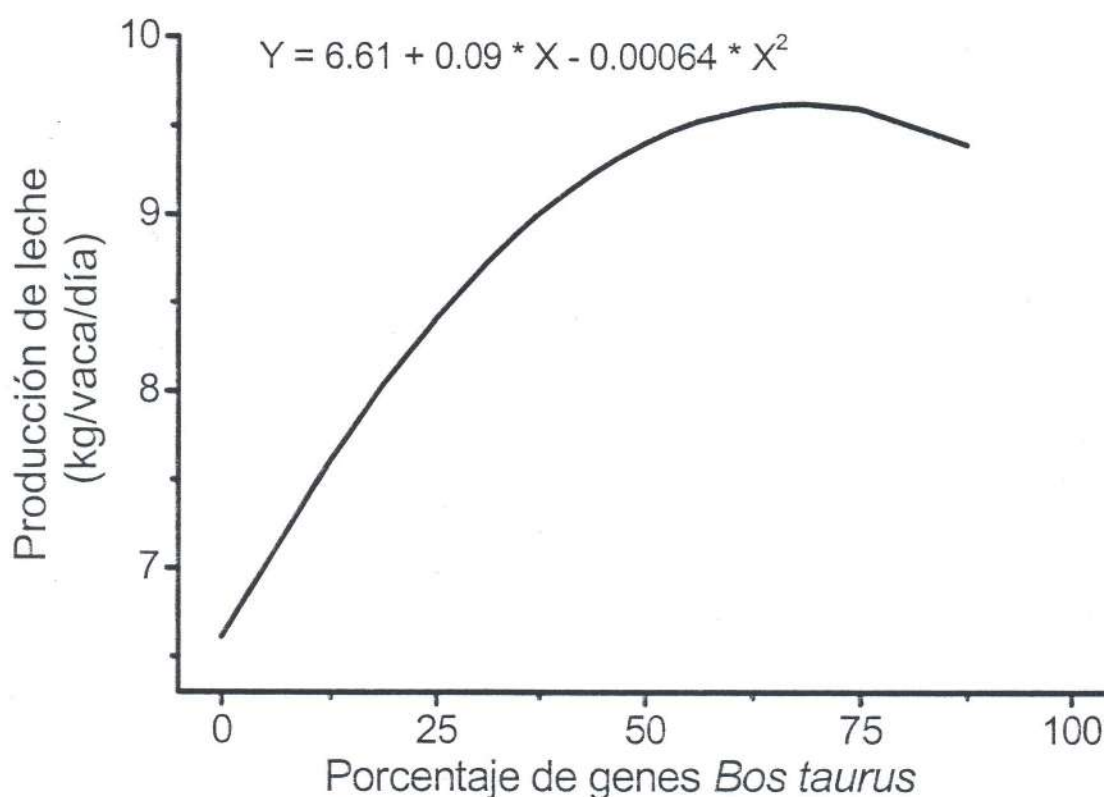


Figura 2. Efecto del porcentaje de genes *Bos taurus* sobre la producción de leche por día de vacas en condiciones tropicales.

En la Figura 3 se muestra el efecto de la covariable PCTGEU en forma lineal y cuadrática sobre la PLDIEP. En esta gráfica se observa que la PLDIEP se incrementó conforme el porcentaje de genes BT aumentó, llegando a su valor máximo (6.8 kg) cuando se tiene un 61.0% de genes BT, lo cual fue mayor en 96.0, 20.4, 1.6, 0.03 y 2.5% para porcentajes de genes BT de 0, 25, 50, 62.5 y 75%, respectivamente.

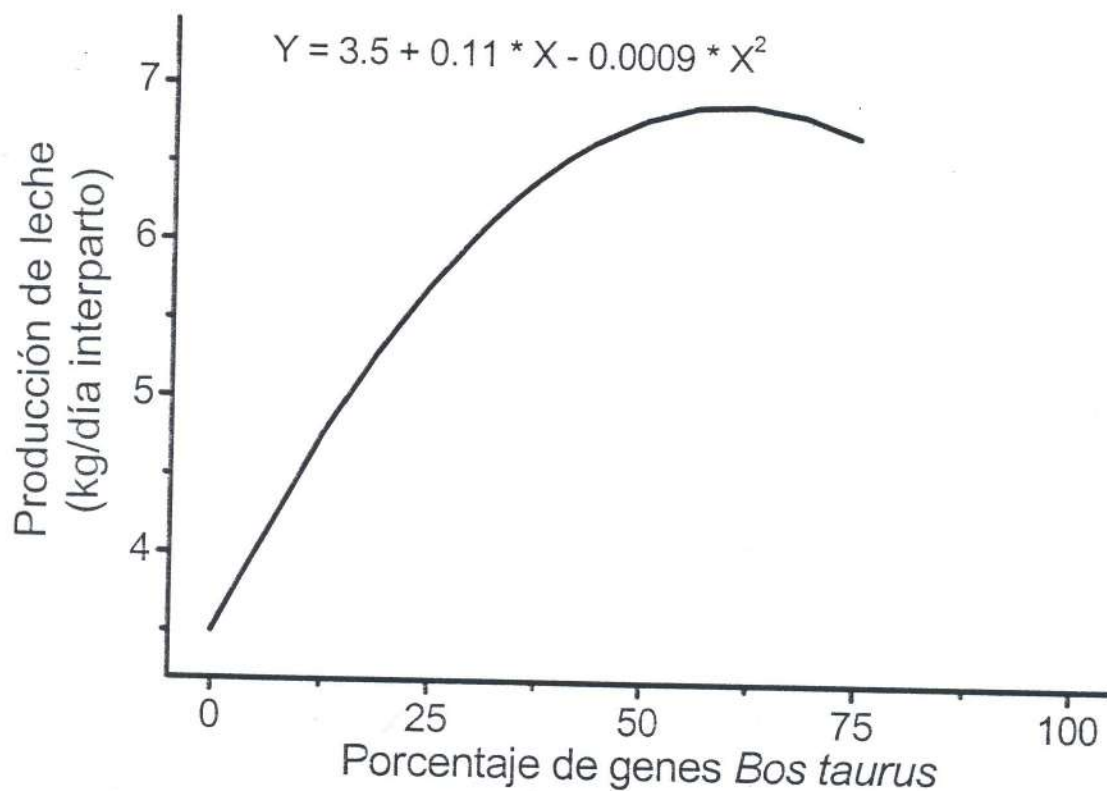


Figura 3. Efecto del porcentaje de genes *Bos taurus* sobre la producción de leche por día interparto de vacas en condiciones tropicales.

La Figura 4 describe el efecto lineal y cuadrático de la covariable PCTGEU sobre la PLP. En general, a medida que el porcentaje de genes BT aumentó, la PLP se incrementó, observándose la máxima producción (13.8 kg) con 61.0% de genes BT, lo cual fue mayor en 48.3, 12.9, 1.09 y 1.7% para porcentajes de genes BT de 0, 25, 50 y 75%, respectivamente, y fue similar para 62.5% de genes BT.

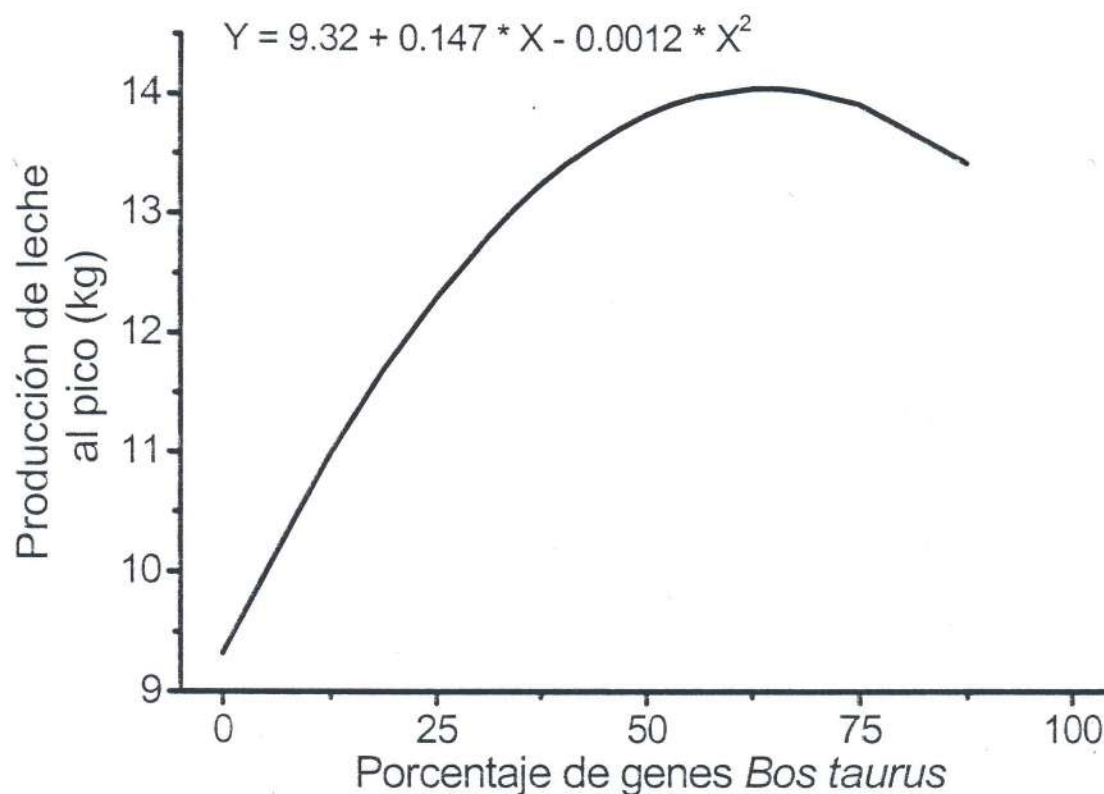


Figura 4. Efecto del porcentaje de genes *Bos taurus* sobre la producción de leche al pico de vacas en condiciones tropicales.

La Figura 5 muestra el efecto lineal que tuvo la covariable PCTGEU sobre la PLS. La tendencia observada es que la PLS se incrementó linealmente conforme el porcentaje de genes BT aumentó, por lo que la PLS con 87.5% de genes BT fue de 6.6 kg, lo que fue superior en 47.7, 30.0, 16.1, 10.3 y 4.8% para porcentajes de genes BT de 0, 25, 50, 62.5 y 75%, respectivamente.

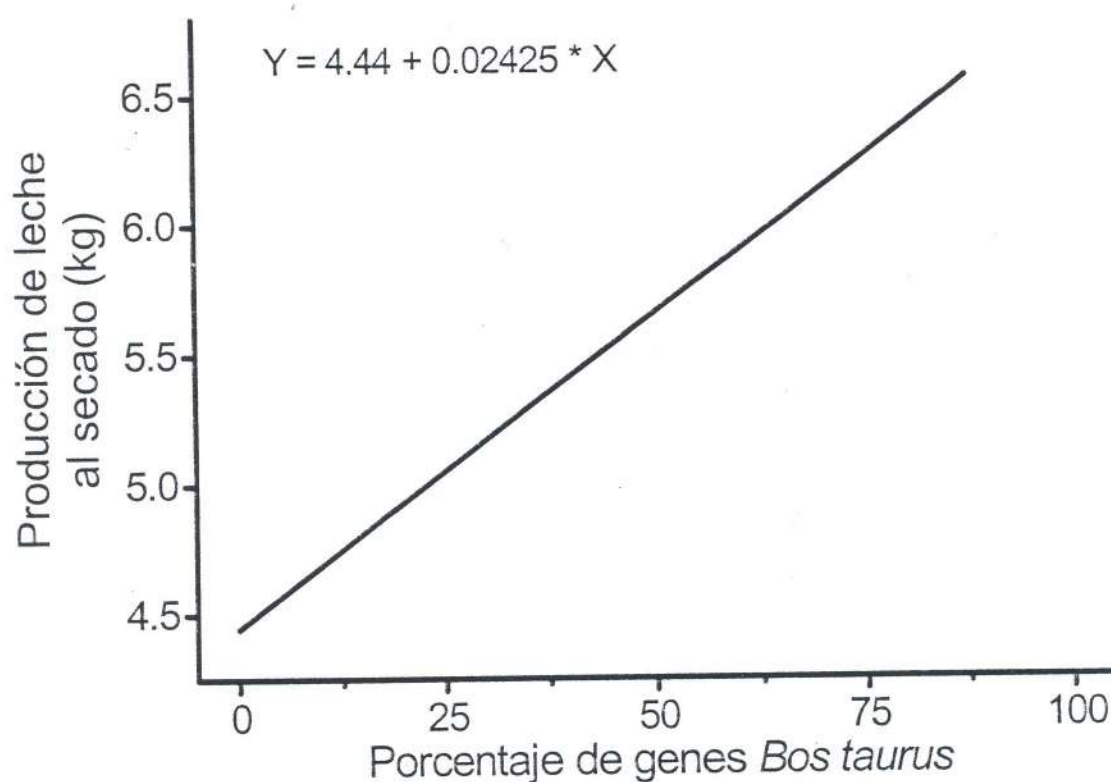


Figura 5. Efecto del porcentaje de genes *Bos taurus* sobre la producción de leche al día de secado de vacas en condiciones tropicales.

En la Figura 6 se puede observar el efecto lineal y cuadrático de la covariable PCTGEU sobre la PLDVH. En general, la PLDVH alcanzó su valor máximo (2.3 kg) con 49.9% de genes BT, lo cual fue superior en 119.0, 15.4, 3.6 y 15.7% para porcentajes de genes BT de 0, 25, 62.5 y 75%, respectivamente.

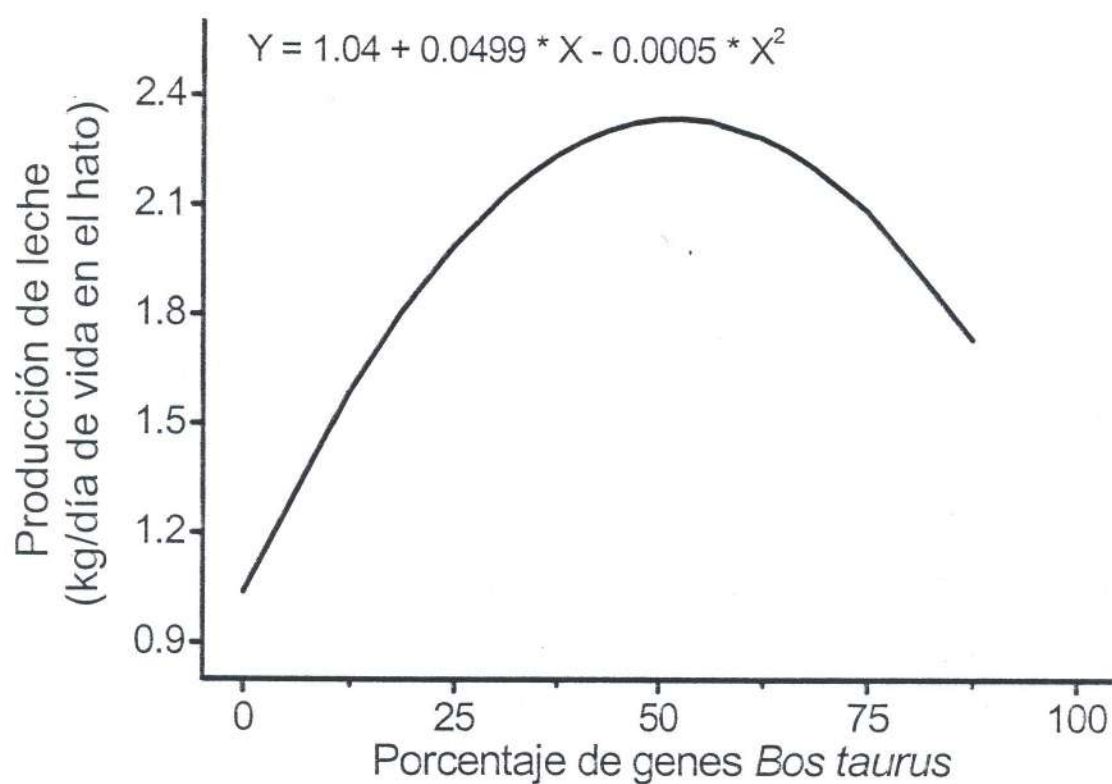


Figura 6. Efecto del porcentaje de genes *Bos taurus* sobre la producción de leche por día de vida en el hato de vacas en condiciones tropicales.

En la Figura 7 se muestra el efecto lineal y cuadrático que presentó la covariable PCTGEU sobre la DL. En esta figura se observó que con 83.4% de genes BT se alcanzó la máxima DL (322 días), la cual fue superior en 117.5, 35.9, 9.5, 3.5 y 0.6% para porcentajes de genes BT de 0, 25, 50, 62.5 y 75%, respectivamente.

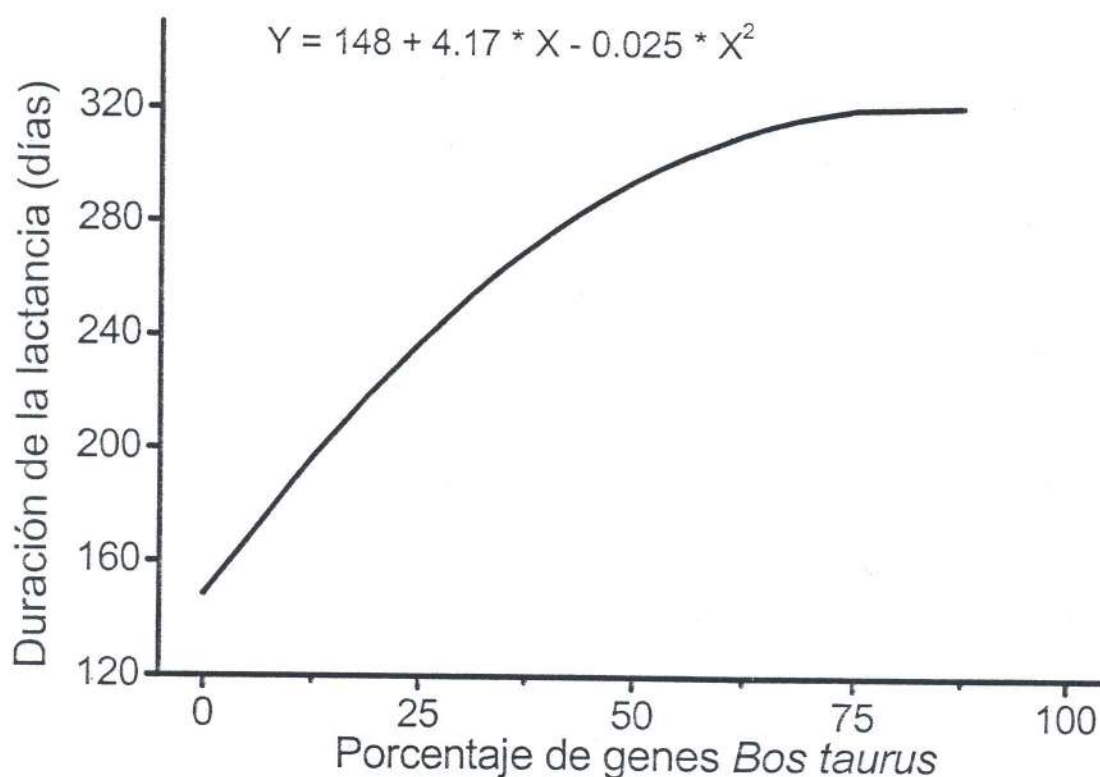


Figura 7. Efecto del porcentaje de genes *Bos taurus* sobre la duración de la lactancia de vacas en condiciones tropicales.

En la Figura 8 se muestra el efecto lineal y cuadrático que tuvo la covariable PCTGEU sobre la P. En esta variable se observó que vacas entre 25 y 50% de genes BT presentaron las menores persistencias (entre 40.9 y 41.4%), mientras que para porcentajes mayores o menores de genes BT fuera de estos rangos, la persistencia aumentó, alcanzando el nivel máximo (48.5%) con 87.5% de genes BT, lo que fue mayor en 7.8% que para porcentajes de genes BT de 0 y 75%.

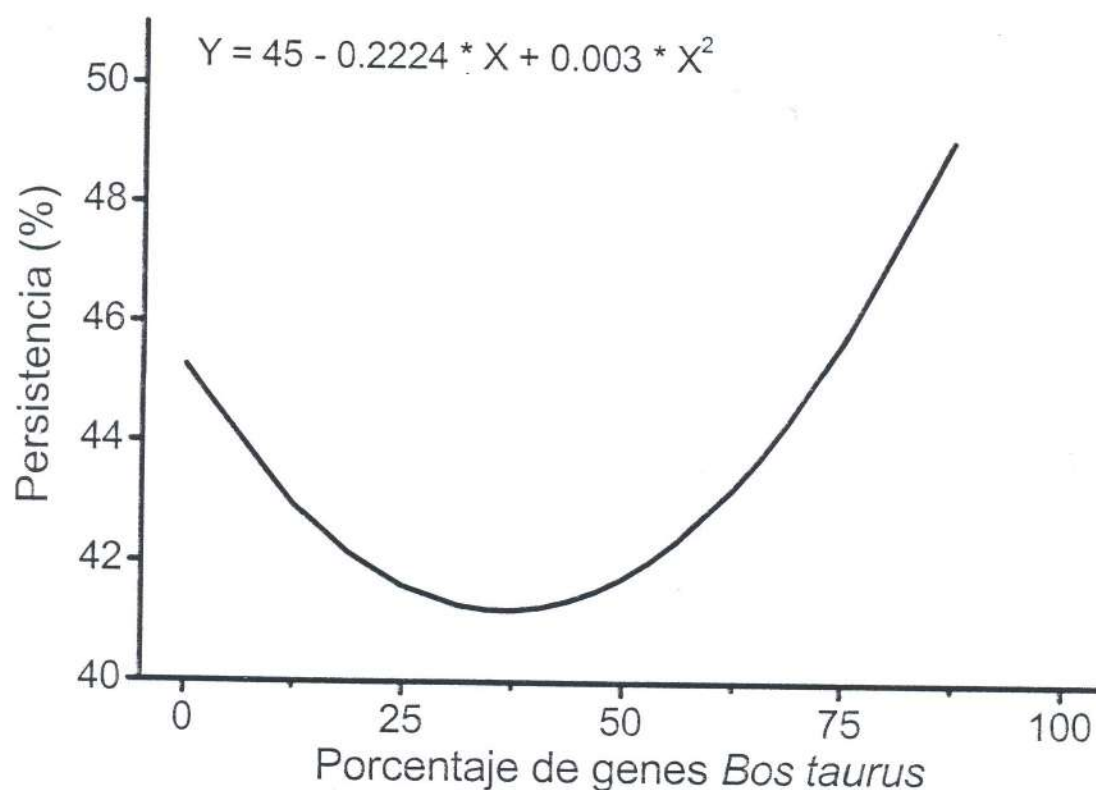


Figura 8. Efecto del porcentaje de genes *Bos taurus* sobre la persistencia de vacas en condiciones tropicales.

Discusión

Efectos ambientales

El aumento observado en este estudio en las variables relacionadas con la PL conforme aumenta el NP, es similar a lo publicado en varios estudios (Enríquez *et al.*, 1989; Rivera *et al.*, 1989; Hernández-Reyes *et al.*, 2000; López y Vaccaro, 2002; Vite *et al.*, 2004), y generalmente las mayores diferencias se han encontrado en vacas de primer parto respecto a los demás partos, siendo mayor la PL en vacas de dos o más partos. Esto se explica por el hecho de que las vacas de primer parto no han terminado su desarrollo corporal, por lo que primero satisfacen sus requerimientos de mantenimiento y crecimiento, y luego los de producción.

Las diferencias observadas en el año de parto para las variables estudiadas eran de esperarse, ya que el año de parto influye en la cantidad de leche producida de diferentes formas; una forma directa es alterando el metabolismo del animal por las temperaturas altas e indirectamente determinando la estacionalidad de la producción forrajera (Collier *et al.*, 1982; Jonsson *et al.*, 1999). Algunos otros estudios también han publicado efectos del año de parto sobre la PL (Rivera *et al.*, 1989; López y Vaccaro, 2002; Vite *et al.*, 2004). El año de parto es una fuente de variación difícil de explicar, ya que su efecto es debido a factores de manejo, ambientales y sus interacciones, además de que su efecto es de naturaleza aleatoria y no predecible.

La estación de parto representa la conjunción de varios factores climáticos y las condiciones de manejo de los animales. Las estaciones del año representan la suma de eventos meteorológicos que se expresan en tiempos

definidos durante el año. La conjunción de elementos que definen el ambiente físico de una temporada a otra, puede tener una connotación especial, dependiendo de la dominancia de una u otra variable. En el presente estudio algunas de las variables (PLS, DP y P) fueron superiores para vacas lactando en época de lluvias, lo que puede atribuirse a mejores condiciones ambientales. Al respecto, Hernández-Reyes *et al.* (2000) no encontraron efectos ($P > 0.05$) de la estación de parto sobre la PL de vacas en condiciones tropicales; sin embargo, muchos de los estudios realizados en trópico muestran que la PL es influida ($P < 0.05$) por la estación de parto (Enríquez *et al.*, 1989; López y Vaccaro, 2002; Vite *et al.*, 2004). El efecto de la época de parto sobre la producción de leche enfatiza la necesidad de un manejo diferencial a través de épocas.

Efectos del porcentaje de genes *Bos taurus*

Los valores máximos obtenidos en este estudio para PTL y PLD se obtuvieron con porcentajes de genes BT de 78.0 y 70.3%, respectivamente, lo que es similar a los resultados publicados en algunos estudios en zonas tropicales (Cunningham y Syrstad 1987; Syrstad 1990; Syrstad 1996; Rege 1998; Thorpe *et al.*, 1993), y sugieren que para muchas de las condiciones tropicales, los mejores genotipos para PL probablemente se encuentren con porcentajes de genes BT mayores a 50%. Las ventajas en PTL y PLD de los genotipos con 78.0 y 70.3% de genes BT, respecto al genotipo usado frecuentemente en el trópico (Cebú), son similares a las publicadas por Rege (1998) en una revisión de varios estudios en condiciones tropicales, estimando que la PTL fue superior en 64.8 y 69.7% para genotipos con porcentajes de

genes BT de 75 y 87.5%, con respecto a genotipos BI. Lo anterior muestra el potencial que tiene el incluir genes de BT en los genotipos para PL en condiciones tropicales.

El hecho de que la PLIEP fuera máxima cuando se tuvo un 61.0% de genes BT y de que existieran pocas diferencias con el rango entre 50.0 y 75.0% de genes BT, sugiere que la inclusión de la variable reproductiva IEP en la variable de PL, probablemente provocó que el porcentaje de genes óptimo disminuyera con relación a lo observado con sólo las variables de PL, indicando también indirectamente que variables reproductivas pudieran tener el porcentaje óptimo de genes BT menor que el de las relacionadas sólo con PL. Resultados similares también se han observado en otros estudios; Vite *et al.* (2004) no observaron diferencias entre la PLIEP de vacas F₁ (Holstein-Cebú; Suizo-Cebú) y 75% Suizo 25% Cebú. Por otro lado, en las condiciones tropicales de Venezuela, López y Vaccaro (2002) observaron que los bovinos mestizos con 50 y 62.5% de genes BT y el resto de BI, no fueron diferentes en la PLIEP.

El comportamiento para la PLDVH fue similar al observado para PLIEP, aunque el óptimo de genes BT fue todavía menor (49.9%), lo que sugiere que para implementar un sistema de cruzamientos a largo plazo, probablemente la mejor alternativa se encuentre con una proporción menor de genes BT que cuando sólo consideramos variables relacionadas con la PL. Al respecto, Teodoro y Madalena (2005) observaron producciones de leche por día de vida en el hato de 7.51 ± 0.35 kg para las vacas con 75% de genes BT, dicho valor fue superior a los de 6.46 ± 0.22 kg y 6.18 ± 0.25 kg obtenidos para las vacas con 81.3 y 87.5% de genes BT, respectivamente. La PLDVH es un indicador

En el presente estudio, la PLS se incrementó sólo linealmente conforme el porcentaje de genes BT aumentó, por lo que la PLS de genotipos con 87.5% de genes BT fue la de mayor PL al término de su lactancia, lo que podría favorecer a genotipos con alto porcentaje de genes BT en la producción más sostenida durante las lactancias, favoreciendo la comercialización del producto. Con respecto a la PLS sólo se encontró un estudio en donde se reportan valores similares a los de este estudio, con producciones de 6.2 ± 0.7 , 6.3 ± 0.7 y 5.0 ± 0.7 kg para vacas F₁ Holstein-Cebú, F₁ Suizo-Cebú y $\frac{3}{4}$ Suizo $\frac{1}{4}$ Cebú, respectivamente (Vite *et al.*, 2004).

La mayor DL de vacas con mayor porcentaje de genes BT (óptimo de 83.4%), es similar al observado en genotipos con genes Barca (raza mestiza africana) y Holstein-Friesian, donde la DL se incrementó con el mayor porcentaje de genes (Tadesse y Tadelle, 2003). En otros estudios en Venezuela, Vaccaro *et al.* (1999) encontraron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) para la DL en bovinos $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Cebú y $\frac{1}{2}$ Suizo Pardo $\frac{1}{2}$ Cebú (264 ± 10 y 234 ± 7 días, respectivamente). López y Vaccaro (2002) encontraron que las vacas $\frac{1}{2}$ Holstein $\frac{1}{2}$ Cebú, $\frac{1}{2}$ Suizo Pardo $\frac{1}{2}$ Cebú, $\frac{5}{8}$ Holstein $\frac{3}{8}$ Cebú y $\frac{5}{8}$ Suizo Pardo $\frac{3}{8}$ Cebú tuvieron duraciones de lactancia de 261 ± 4 , 241 ± 5 , 264 ± 4 y 247 ± 5 días, respectivamente. Por otro lado, en condiciones de trópico semiárido, Thorpe *et al.* (1993) observaron que la DL fue mayor conforme el porcentaje de genes Sahiwal disminuyó hasta un 25%. McDowell *et al.* (1996) y Bachmann y Schairer (2003) documentaron la influencia de las decisiones de manejo en el comportamiento productivo de los animales. La duración de la lactancia es una práctica de manejo que involucra varios factores como la

productividad de la vaca, la salud, la disponibilidad de forrajes, y la habilidad para remplazar los animales del hato. Además, la duración de la lactancia se asocia con eventos no controlados como las pariciones, las enfermedades y trastornos metabólicos.

La persistencia (P) es una característica asociada a la curva de producción de leche y estima el porcentaje de PL que es posible mantener o que se mantiene después de la producción máxima. En el presente estudio, la persistencia se calculó multiplicando la PLS por 100 y dividiéndola entre la PLP. Desafortunadamente no se encontraron estudios en los que se reporte la persistencia calculada de esta forma, sin embargo, los resultados pueden explicarse biológicamente por los niveles de producción al pico y al secado. Por ejemplo, en vacas con 0% de genes BT la P fue mayor que para vacas con 50% de genes BT, las vacas con 0% de genes BT presentaron la menor PLP y PLS, dado que la fórmula es un cociente, a medida que estos dos valores (PLP y PLS) sean muy parecidos, la persistencia tenderá a ser mayor.

Consideraciones generales

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

Los estudios realizados por Villegas-Carrasco (1986), Hernández *et al.* (1989) y Madalena *et al.* (1990) sugieren que el genotipo de la vaca influye positivamente en la PL. En las condiciones del presente estudio, en general los incrementos en PL con los aumentos en la proporción de genes BT superiores a los observados para la F₁ (*Bos indicus* x *Bos taurus*) fueron consistentes con los observados en algunos estudios previos (McDowell *et al.*, 1996; Rege, 1998). Sin embargo, la inclusión de genes por arriba del 50% de Cebú reveló que el comportamiento productivo sigue incrementándose hasta aproximadamente 80% de genes BT, y que porcentajes mayores a la mencionada presentaron una ligera disminución en PL. McDowell (1972) indicó que las diferencias en PL entre las cruzas de bovinos BT x BI y Holstein puro deberían ser pequeñas o moderadas, y que los animales puros de la raza Holstein deberían ser superiores a las cruzas, si la disponibilidad de energía fuera más alta, lo que redundaría en un comportamiento en PL superior. Por lo anterior, las diferencias en PL pueden llegar a hacer mayores a favor de los genotipos con genes BT, en respuesta al mejoramiento del ambiente. Las combinaciones de genes BT y BI, en conjunto con el posible manejo del ambiente a considerar, serán los que determinen los genotipos óptimos a utilizar para casos específicos.

Finalmente, debido a la cantidad reducida de datos disponibles en este estudio para los diferentes genotipos BT (principalmente Holstein) y BI (principalmente Gyr), no fue posible cuantificar los efectos para cada raza, y fueron agrupados sólo como BT o BI, por lo que se requiere evaluar en el futuro los efectos específicos de los genes de las diferentes razas.

Conclusiones

Los genotipos con porcentajes de genes *Bos taurus* entre 50 y 80% mostraron un comportamiento superior en la mayoría de las variables relacionadas con la producción de leche. Lo anterior sugiere que es recomendable la utilización de sistemas de cruzamiento que se aproximen a los porcentajes de genes *Bos taurus* indicados.

La inclusión de genes *Bos taurus* hasta aproximadamente 80% mostró que es posible incrementar el porcentaje de genes *Bos taurus* más del 50% y obtener una respuesta favorable en producción de leche. Sin embargo, cuando se integran variables productivas y reproductivas, los genotipos entre 50 y 60 % de genes *Bos taurus* mostraron ser una mejor alternativa.

Referencias

- Bachmann, C. K., and M. C. Schairer. 2003. Invited review. Bovine studies on optimal length of dry periods. *J. Dairy Sci.* 86:3027-3037
- Carvajal-Hernández, M., E. R. Valencia-Heredia y J. C. Segura-Correa. 2002. Duración de la lactancia y producción de leche de vacas Holstein en el estado de Yucatán, México. *Rev. Biomed.* 13:25-31.
- Collier, R. J., D. K. Beede, W. W. Thatcher, and C. J. Wilcox. 1982. Influence of environment and its modification on dairy animals health and production. *J. Dairy Sci.* 65:2213 (Abstr.).
- Cunningham, E. P., and O. Syrstad. 1987. Crossbreeding *Bos indicus* and *Bos taurus* for milk production in the tropics. *FAO Anim. Prod. and Health Paper* No. 68. Rome, Italy.
- Enríquez, J. M., C. A. De la Rosa H. y R. Núñez D. 1989. Producción de leche y carne por cruza Cebú-Holstein en trópico húmedo. *Revista Chapingo.* 65-66:34-37.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Instituto de Geografía de la UNAM. México. 252 p.

- Hernández, H. V. D., G. A. Ortiz O, F. J. Juárez L. y R. Ponce H. 1989. Efecto de la ordeña dos veces al día sobre el comportamiento productivo de ganado cruzado de doble propósito en clima tropical húmedo (Am). Memorias XXV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria; 1989, 12-14 Octubre. México, D. F. p. 191.
- Hernández-Reyes, E., V. M. Segura-Correa, J. C. Segura-Correa y M. M. Osorio-Arce. 2000. Intervalo entre partos, duración de la lactancia y producción de leche en un hato de doble propósito en Yucatán, México. *Agrociencia*. 35:699-705.
- ICAR. Recording guidelines: Appendices to the Internacional Agreement of recording practices. International Committee for Animal Recording, 1995. Rome, Italy/RVN, Amhem, the Netherlands. Online. Disponible en: <http://WWW.icar.org./PDF%20files/Rules%20and%20regulations/Guidelines.PDF>. (Consultada el 15 de abril de 2004).
- Jonsson, N. N., W. J. Fulkerson, P. M. Pepper, and M. R. McGowan. 1999. Effect of genetic merit and concentrate feeding on reproduction of grazing dairy cows in a subtropical environment. *J. Dairy Sci.* 82:2756-2765.
- Juárez, L. F. I., D. G. Fox, R. W. Blake, and, A. N. Pell. 1999. Evaluation of tropical grasses for milk production by dual-purpose cows in tropical México. *J. Dairy Sci.* 82:2136-2145.
- Koppel, R., E. T., A. Ortiz G., A. Ávila D., J. Lagunas L., G. Castañeda O., I. López G., U. Aguilar B., H. Román P., A. Villagómez J., R. Aguilera S., J. Quiroz V. y C. Calderon R. 1999. Manejo de ganado bovino de doble propósito en el trópico. INIFAP.CIRGOC. Libro Técnico Núm. 5. Veracruz, México. 158 p.
- López, J. y L. Vaccaro. 2002. Comportamiento productivo de cruces Holstein Friesian-Cebú comparados con pardo Suizo-Cebú en sistemas de doble propósito en tres zonas de Venezuela. *Zootecnia Tropical*. 20 (3):397-414.
- Lozano, C. A. y L. A. Maza O. 2002. Evaluación de ganado F₁ (Holstein-Sahiwal) en un sistema de doble propósito en el estado de Colima. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx.
- Madalena, F. E., R. L. Teodoro, A. M. Lemos, J. B. N. Monteiro, and R. T. Barbosa. 1990. Evaluation of strategies for crossbreeding dairy cattle in Brazil. *J. Dairy Sci.* 73:1887-1901.
- Magaña, J. C., and J. C. Segura-Correa. 2001. Estimates of breed and heterosis effects for some reproductive traits of Brown Swiss and Zebu-related breeds in South-eastern Mexico. *Livest. Res. for Rural Develop.* 13: (5).

Online. Disponible en: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd13/5/maga135.htm>. (Consultada el 7 de octubre de 2005).

McDowell, R. E. 1972. Improvement of Livestock in warm climates. W. H. Freeman and Co., San Francisco, CA.

McDowell, R. E., J. C. Wilk, and C. W. Talbott. 1996. Economic viability of crosses of *Bos taurus* and *Bos indicus* for dairying in warm climates. J. Dairy Sci. 79:1292-1303.

Osorio-Arce, M., and J. C. Segura-Correa. 2002. Reproductive performance of dual-purpose cows in Yucatan México. Livest. Res. for Rural Develop. 14: (3). Online. Disponible en: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/3/Osor143.htm>. (Consultada el 7 de octubre de 2005).

Rege, J. E. O. 1998. Utilization of exotic germplasm for milk production in the tropics. Proceedings of the 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. 25:193-201.

Rivera, M. D., R. Núñez y S. Fernández. 1989. Comportamiento reproductivo y productivo de vacas Holstein-Cebú y Suizo Pardo-Cebú en un hato de doble propósito. Revista Chapingo. 65-66:31-33.

SAS. 2001. The SAS System for Windows. Versión 8.2. SAS Institute Inc. Cary. NC., USA.

Syrstad, O. 1990. Dairy cattle crossbreeding in the tropics: the importance of genotype x environmental interactions. Livest. Prod. Sci. 24:109.

Syrstad, O. 1996. Dairy cattle crossbreeding in the tropics: choice of crossbreeding strategy. Trop. Anim. Health Prod. 28 (3):223-229.

Tadesse, M., and D. Tadelle. 2003. Milk production performance of Zebu, Holstein Friesian and their crosses in Ethiopia. Livest. Res. for Rural Develop. 15:(3). Online. Disponible en: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd15/3/Tade153.htm>. (Consultada el 7 de octubre de 2005).

Teodoro, R. L., and F. E. Madalena. 2005. Evaluation of crosses of Holstein, Jersey or Brown Swiss sires x Holstein-Friesian/Gir dams. 3. Lifetime performance and economic evaluation. Genetics and Molecular Research. 4 (1): 84-93.

Thorpe, W., P. Kang'ethe, J. E. O. Rege, R. O. Mosi, B. A. J. Mwandotto, and P. Njuguna. 1993. Crossbreeding Ayrshire, Friesian, and Sahiwal cattle for

Milk Yield and Preweaning Traits of Progeny in the Semiarid Tropics of Kenya. J. Dairy Sci. 76: 2001-2012.

Vaccaro, L., A. Pérez, and R. Vaccaro. 1999. Productive performance of F₁ compared with other 50% European-Zebu crossbred cows for dual purpose systems in the Venezuelan tropics. Livest. Res. for Rural Develop. 11: (1).

Villegas-Carrasco, M. C. y H. Román-Ponce. 1986. Producción de leche durante el proceso de formación de un rancho de doble propósito en el trópico. Téc. Pec. Méx. 51: 51-61.

Vite, C. C., R. López O., J. G. García M., R. Ramírez V., A. Ruiz F. y R. López. O. 2004. Producción de leche y comportamiento reproductivo de vacas doble propósito que consumen forrajes tropicales y concentrados. Artículo aceptado para su publicación en la revista Veterinaria México.