

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

**NIVELES Y EFECTOS DE CONSANGUINIDAD EN CARACTERÍSTICAS
PRODUCTIVAS DE LA RAZA BOVINA TROPICARNE**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

PRESENTA:

MARTÍN MENDOZA DOMÍNGUEZ



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

DICIEMBRE DEL 2002

Chapingo, Estado de México

B.b. 98467

**NIVELES Y EFECTOS DE CONSANGUINIDAD EN CARACTERÍSTICAS
PRODUCTIVAS DE LA RAZA BOVINA TROPICARNE**

Tesis realizada por Martín Mendoza Domínguez, 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. AGUSTÍN RUÍZ FLORES

ASESOR:



Ph. D. MAXIMINO HUERTA BRAVO

ASESOR:



Ph. D. RAFAEL NÚÑEZ DOMÍNGUEZ

ASESOR:



Ph. D. RODOLFO RAMÍREZ VALVERDE

A 40542

AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Producción Animal del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, por la oportunidad y las facilidades brindadas para realizar mis estudios y trabajo de investigación.

Al Ph. D. Agustín Ruiz Flores por su amistad que es de los tesoros más valiosos que me llevo de esta Institución de enseñanza, y por que bajo su acertada dirección y enseñanzas se llevo a buen termino el trabajo de investigación que nos ocupa.

A los Ph. D. Rafael Núñez Domínguez, Maximino Huerta Bravo y Rodolfo Ramírez Valverde, quienes apartados de todo egoísmo compartieron sus conocimientos y amistad.

Al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento proporcionado para el desarrollo de mis estudios de posgrado.

A la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Tropicarne, por facilitar la información de su base de datos genealógicos y productivos para el presente estudio.

A Joel, Canche, Rafa, Carlos, Checo, Quique, Chatito, Juanito, David, Miguel, Felipe, José Luis, Edgardo, Salvador, Manuel, Oscar, Alfredo, Coco y demás compañeros del posgrado, de quienes me llevo grandes vivencias, pero sobre todo su compañerismo y amistad.

DEDICATORIAS

Con todo mi amor a mis Olga's y mis Luisita's, por ser lo más importante en mi vida, por caminar siempre a mi lado, por levantarme cuando he caído, por empujarme en la cuesta, por compartir y convivir mis alegrías y tristezas, y por darme tanto pero tanto amor, que el presente trabajo sirva de orgullo e inspiración para Ustedes.

A mis hermanos y hermanas por el apoyo que siempre me han brindado, y cuya amistad le dan un significado especial a la palabra Familia.

A mi padre (q.e.p.d.)

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Martín Mendoza Domínguez

Fecha de nacimiento: 11 de noviembre de 1961

Lugar de nacimiento: México, D. F.

Estado civil: Casado.

Profesión: Ingeniero Agrónomo especialista en Zootecnia

Desarrollo académico

1966 - 1972 Escuela Primaria Gral. Alfonso Reyes, D. F.

1972 – 1975 Escuela Secundaria Federal N° 70, D. F.

1975 – 1978 Preparatoria Agrícola, Chapingo, Méx.

1978 – 1982 Dpto. Zootecnia, UACh, Chapingo, Méx.

2000 – 2002 Posgrado en Producción Animal, Dpto. Zootecnia, UACh, Chapingo, Méx.

CONTENIDO

I	Introducción.....	1
II	Objetivos.....	2
III	Revisión de literatura.....	3
IV	Niveles y efectos de consanguinidad en características productivas de la raza bovina Tropicarne.....	25
V	Conclusiones.....	37

LISTA DE CUADROS

Cuadro 3.1	Promedios de los coeficientes de consanguinidad (%) del animal (Fc) y de la madre (Fm), en diferentes poblaciones de ganado bovino.....	4
Cuadro 3.2	Estimadores de los coeficientes de regresión lineal (kg/1% F) de peso al nacimiento, sobre consanguinidad del animal (Fc) y de la madre (Fm) en diferentes razas de ganado bovino para carne.....	7
Cuadro 3.3	Estimadores de los coeficientes de regresión lineal (kg/1% F) de peso al destete, sobre consanguinidad del animal (Fc) y de la madre (Fm) en diferentes razas de ganado bovino para carne.....	9
Cuadro 3.4	Estimadores de los coeficientes de regresión lineal (kg/1% F) de peso al año, sobre consanguinidad del animal (Fc) y de la madre (Fm) en diferentes razas de ganado bovino para carne.....	10
Cuadro 3.5	Estimadores de coeficientes de regresión lineal (kg/1% F) de peso a los 18 meses, sobre consanguinidad del animal (Fc) y de la madre (Fm) en diferentes razas de ganado bovino para carne.....	11
Cuadro 3.6	Estimadores de coeficientes de regresión lineal (g/1% F) de ganancia diaria de peso predestete, sobre consanguinidad del animal (Fc) y de la madre (Fm) en diferentes razas de ganado bovino para carne.....	13
Cuadro 3.7	Estimadores de los coeficientes de regresión lineal (g/1% F) de ganancia diaria de peso postdestete, sobre consanguinidad del animal en diferentes razas de ganado bovino para carne.....	14
Cuadro 3.8	Estimadores de los coeficientes de regresión lineal (días/1% F) para edad al primer parto, sobre consanguinidad del animal en diferentes razas de ganado bovino para carne	15
Cuadro 3.9	Estimadores de los coeficientes de regresión lineal (días/1% F) para intervalo entre partos, sobre consanguinidad del animal en diferentes razas de ganado bovino.....	16

Cuadro 4.1	Distribución de animales consanguíneos por coeficiente de consanguinidad (F_c) en porcentaje.....	33
Cuadro 4.2	Estimadores de los coeficientes de regresión para características de crecimiento y reproductivas ($b \pm EE$) sobre una unidad porcentual de consanguinidad del animal y de la madre.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1	Comportamiento de los niveles de consanguinidad del animal (Fc) en el ganado Tropicarne.....	33
Figura 4.2	Porcentaje de animales consanguíneos por año de nacimiento en el ganado Tropicarne.....	34

INTRODUCCIÓN

La raza bovina Tropicarne se desarrolló mediante una serie de cruzamientos que involucró varias razas bovinas, seleccionándose los reproductores con base en el comportamiento productivo y reproductivo de los animales, y en su capacidad de adaptación a los sistemas de producción en regiones tropicales. Tropicarne es una raza sintética especializada en la producción de carne, con una composición racial aproximada de 63% Senepol, 23% Barzona, 9% Brahman y 5% Charolais.

Desde su formación en la región tropical de los límites de los estados de Tamaulipas y Veracruz en la República Mexicana, la raza Tropicarne se maneja como un hato cerrado que produce sus propios reemplazos de ambos sexos. En poblaciones manejadas genéticamente cerradas, la consanguinidad se presentará tarde o temprano (Falconer y Mackay, 1996).

La consanguinidad se presenta cuando dos animales relacionados entre sí por uno o más ancestros en común se aparean (Falconer y Mackay, 1996). Los efectos de la consanguinidad sobre el comportamiento productivo del ganado se conocen desde hace mucho tiempo, observándose que los animales consanguíneos generalmente muestran reducciones fenotípicas para características de crecimiento pre y postdestete, así como de fertilidad y sobrevivencia (Ruiz, 1992; Burrow, 1998; Fioretti *et al.*, 2002). Esta reducción del valor fenotípico promedio de características productivas en animales consanguíneos se conoce como depresión endogámica o consanguínea. Sin embargo, la consanguinidad no afecta todas las características con la misma intensidad en todas las poblaciones o en todos los animales, por lo que se requiere de la cuantificación de los efectos de consanguinidad para ciertas poblaciones.

Fioretti *et al.* (2002) mencionan tres métodos para estimar el efecto de la consanguinidad sobre características productivas: (i) el uso de regresión en la cual el coeficiente de consanguinidad del individuo y/o de la madre se incluye como covariable en los modelos que incluyen otros factores ambientales y genéticos, (ii) comparando el comportamiento medio de líneas consanguíneas con el comportamiento de líneas control o cruzadas, y (iii) el uso de la consanguinidad como un efecto fijo en modelos de análisis de varianza agrupando a los animales en clases discretas de la consanguinidad.

Weigel (2001) indica que el mejoramiento genético del ganado bovino, involucra el balance entre selección intensa de un pequeño número de padres de la próxima generación y el mantenimiento

de la variación genética cuantitativa apropiada, que permitan una respuesta substancial en futuras generaciones. Este autor menciona que los recientes avances en programas de selección genética, han propiciado que la consanguinidad se acumule rápidamente en más especies de ganado comercial, indicando que la consanguinidad es primeramente una función de intensidad de selección más que del tamaño poblacional. Así que el mantenimiento de diversidad genética a largo plazo depende de la elección de métodos para minimizar las relaciones genéticas aditivas entre los individuos seleccionados.

OBJETIVOS

Por lo antes expuesto y debido a la importancia de la consanguinidad en la planeación de los esquemas de apareamientos en la raza bovina Tropicarne, los objetivos de este trabajo fueron: determinar los niveles y estimar las tendencias de consanguinidad de las crías y de los progenitores, y cuantificar los efectos de consanguinidad del animal y de la madre en características reproductivas y de crecimiento en el ganado Tropicarne.

III REVISIÓN DE LITERATURA

La consanguinidad es la probabilidad de que dos genes en un locus determinado de un individuo, sean idénticos por descendencia, y se presenta cuando se aparean individuos emparentados, a través de ancestros comunes (Falconer y Mackay, 1996). El concepto y los efectos detrimentales de la consanguinidad se conocen desde hace siglos, por lo que la práctica común es tratar de evitarla. Sin embargo, también ha tenido usos positivos, a finales del siglo XIX, Bakewell, citado por Pirchner (1985), observó que la consanguinidad fijaba ciertas características y la utilizó en la formación de algunas de las razas modernas de ganado.

1 Estimación del coeficiente de consanguinidad

La ecuación para calcular el coeficiente de consanguinidad (Warwick y Legates, 1980; Lasley, 1991; Falconer y Mackay, 1996) es la siguiente: $F_x = \frac{1}{2} \sum_i [(\frac{1}{2})^n (1+F_{ai})]$, donde: F_x es el coeficiente de consanguinidad del individuo x , $\sum_i$ es la sumatoria para los ancestros comunes, n es el número de segregaciones que conectan al padre y a la madre a través de un antepasado común (número de segregaciones ocurridas en un camino específico entre el padre y la madre de x), y F_{ai} es el coeficiente de consanguinidad del i -ésimo antepasado común.

Existe una relación entre el tamaño efectivo de la población N_e , y el incremento en consanguinidad de la siguiente manera: $\Delta F = 1/2N_e$, donde: ΔF es el incremento en consanguinidad. De tal manera que el incremento en consanguinidad es mayor en poblaciones de tamaño efectivo de la población reducido. De acuerdo con Falconer y Mackay (1996) el tamaño efectivo de la población se obtiene con la ecuación siguiente: $N_e = (4N_S * N_D) / (N_S + N_D)$, donde: N_e es el tamaño de población efectiva, N_S es el número de sementales y N_D es el número de madres.

1.1 Niveles y tendencias de la consanguinidad en diferentes poblaciones de ganado bovino

Weigel (2001) indica que en poblaciones comerciales de ganado, los recientes avances en los programas de selección genética han incrementado la respuesta anual a la selección, pero también la consanguinidad se ha incrementado. Por ello, es importante que en la evaluación de programas genéticos se considere el nivel y la tendencia de la consanguinidad (Burrow, 1998).

La consanguinidad se presenta en toda población que se maneja en forma genéticamente cerrada. Young y Seykora (1996) en un estudio en la raza Holstein estimaron un incremento de la

consanguinidad de 0.11% anual. Faria *et al.* (2002) en las razas Nelore, Polled Nelore, Gyr, Polled Gyr, Guzerat, Indubrasil y Red Sindhi, encontraron un incremento de la consanguinidad de 0.09, 0.06, 0.13, 0.31, 0.05, 0.16 y 0.64% anual, respectivamente; estos incrementos son pequeños con excepción de las razas Polled Gyr y Red Sindhi, las que tuvieron un número reducido de animales fundadores. Ferraz *et al.* (2000) estudiaron una población de ganado Santa Gertrudis en Brasil y encontraron un nivel inicial del coeficiente de consanguinidad promedio de 6% en 1985 y de 0.3% en 1996 con una tendencia negativa de 0.3% anual, indicando que en esta población se han planeado los apareamientos para reducir el promedio del coeficiente de consanguinidad, lo que explica la tendencia negativa.

Cuadro 3.1. Estimadores de los coeficientes de consanguinidad (%) del animal (Fc) y de la madre (Fm), en diferentes poblaciones de ganado bovino

Raza	Fc			Fm			Autor(es)
	Media	Mín	Máx	Media	Mín	Máx	
Piedmontese	1.3						Fioretti <i>et al.</i> (2002)
Hereford	0.1						Duagjinda <i>et al.</i> (2001)
Gelbvieh	0.1						
Charolais	0.2						
Santa Gertrudis	4.0						Ferraz <i>et al.</i> (2000)
Ax ¹	4.5±2.3	0	17.0	3.5±2.0	0	20.0	Burrow (1998)
AxBx ²	3.1±2.3	0	17.0	2.6±2.8	0	20.0	
Hereford	9.8±8.0	0	46.0	7.5±7.6	0	46.0	Pariacote <i>et al.</i> (1998)
Holstein	5.1±0.4						Young y Seykora (1996)
Indubrasil	0.9	0	31.0				Ávila (1993)
Romosinuano	6.0±5.0	0	31.0	2.9±4.1	0	31.0	Ruiz (1992)
Criollo Lechero	1.8±3.5	0	25.0				
Centroamericano							

¹25% Hereford, 25% Shorthorn y 50% Africander.

²25% Hereford, 25% Brahman, 25% Shorthorn y 25% Africander.

El nivel de consanguinidad encontrado en la mayoría de las poblaciones ha sido bajo (Cuadro 3.1), con excepción del encontrado por Pariacote *et al.* (1998) en ganado Hereford (9.8±8.0 y 7.5±7.6 para Fc y Fm, respectivamente) y por Ruiz (1992) en un hato cerrado genéticamente de la raza Romosinuano (6.0±5.0%).

2 Efectos de consanguinidad

Los efectos de consanguinidad son a nivel genotípico y fenotípico, sobre diversos grupos de características. El aumento en la frecuencia de genotipos con efectos deletéreos en homocigosis recesiva, asociados con el apareamiento de animales emparentados ha llamado la atención de los productores de ganado.

La determinación de los niveles de consanguinidad es importante por los efectos detrimentales que ejerce sobre algunas características económicamente importantes del ganado vacuno (Allaire y Henderson, 1965; Young, 1984; Young *et al.*, 1988). La consecuencia fenotípica más importante de consanguinidad es la depresión consanguínea, la cual afecta las características reproductivas, de crecimiento y de adaptabilidad en la población consanguínea (Weigel, 2001). Como ejemplo de lo anterior, se observó que por cada 1% de incremento en la consanguinidad se disminuye la producción de leche en un rango de 9.8 a 26.0 kg por lactación en varias razas bovinas lecheras (Thompson y Freeman, 1967; Hudson y Van Vleck, 1984; Casanova *et al.*, 1992).

2.1 Genéticos

Los efectos genéticos de la consanguinidad son el resultado de que los individuos reciban genes idénticos de cada progenitor. Si los padres están emparentados, la progenie tendrá genes en homocigosis en una proporción mayor de sus loci que el promedio de la población. Esto puede ser deseable si los genes que recibe el individuo de sus padres tienden a dar un comportamiento superior. Sin embargo, existen genes con efectos indeseables en homocigosis recesiva, esto disminuirá el comportamiento productivo de los animales con esta condición. Por lo que, el efecto principal de la consanguinidad es el aumento de la homocigocidad de los genes cualquiera que sea su clase de acción (MacNeil *et al.*, 1989). Otro efecto genético de la consanguinidad es la reducción de la variabilidad genética en líneas consanguíneas, y el aumento de la variabilidad entre líneas consanguíneas.

La consanguinidad por sí misma no modifica las frecuencias génicas, pero en poblaciones pequeñas algunos alelos se pueden perder por azar mientras progresa la consanguinidad (Warwick y Legates, 1980).

2.2 Fenotípicos

Generalmente, la consanguinidad afecta detrimentalmente de manera más notoria la eficiencia reproductiva y sobrevivencia, características con baja variabilidad genética aditiva (McDaniel, 2001). La depresión consanguínea es el efecto contrario a heterosis (vigor híbrido), que es la ganancia obtenida del cruce de líneas o razas.

La consanguinidad a través de la depresión endogámica en características de producción, crecimiento, salud y fertilidad ocasiona pérdidas económicas (Ruiz, 1992; Weigel, 2001). En la raza Holstein, Weigel y Lin (2000) observaron una reducción en el ingreso neto de por vida de 24.43 y 21.78 dólares por la venta de leche fluida o procesada, respectivamente, por cada incremento de una unidad porcentual del coeficiente de consanguinidad. Esta reducción en el ingreso neto de por vida fue debido primeramente a una reducción en la vida productiva de 13.1 días y de una reducción en la producción de 37.2, 1.2 y 1.2 kg de leche, grasa y proteína, respectivamente, por una unidad porcentual de incremento del coeficiente de consanguinidad. En adición, estos autores indican que la edad al primer parto y el intervalo entre partos se incrementaron en 0.4 y 0.3 días, respectivamente, por cada unidad porcentual de aumento en el coeficiente de consanguinidad.

En ganado bovino para carne las características de crecimiento y reproductivas representan un papel importante en el éxito o fracaso de la explotación. A continuación se presentan algunos resultados de trabajos que señalan los efectos de la consanguinidad para estas características en este tipo de ganado.

2.2.1 Características de crecimiento

El crecimiento, en general, se suele medir como el aumento de peso vivo por unidad de tiempo. MacNeil *et al.* (1989), Ruiz (1992), Ávila (1993), y Burrow (1998), concluyeron que la consanguinidad en el ganado de carne tiene un efecto adverso sobre caracteres de crecimiento desde el nacimiento hasta la madurez, el cual puede ser más notorio bajo condiciones de estrés. McCurley *et al.* (1984) encontraron un efecto negativo de consanguinidad del animal y de la madre en el peso maduro en las razas Hereford, Angus y Shorthorn, aunque el efecto de consanguinidad de la madre sólo fue significativo en la raza Shorthorn. Estos autores, indican que consanguinidad de la madre tiene un efecto negativo sobre el crecimiento predestete, pero positivo sobre el crecimiento postdestete de sus crías, y que el efecto de consanguinidad del

animal sobre su propio comportamiento es variable, dependiendo de las líneas consanguíneas y del coeficiente de consanguinidad que tenga.

Peso al nacimiento (PN)

Esta característica es el resultado del crecimiento del feto durante la gestación, y su variación está determinada por los genes propios del individuo y por los factores que influyeron sobre la madre en ese período y por todos aquellos factores que contribuyen a la nutrición del feto en el útero; en bovinos, más de la mitad del aumento del peso total ocurre durante los últimos dos meses de gestación. El peso al nacimiento es un carácter importante en cualquier explotación ganadera por su correlación genética, fenotípica y ambiental positiva con el peso al destete y la ganancia diaria de peso predestete. Es importante igualmente, por su asociación con dificultad al parto, por lo que los pesos al nacimiento intermedios son más adecuados. Zerlotti *et al.* (1995) mencionan que el PN está determinado mayormente por los genes del propio individuo, especialmente cuando la capacidad uterina de la vaca no sea un factor limitante. En el ganado Tropicarne otros efectos que influyen sobre esta característica son sexo de la cría, año y época de nacimiento, rancho, las interacciones sexo por año y año por época, el efecto aleatorio de la vaca anidada en rancho, y las covariables lineal y cuadrática edad de la vaca al parto y proporción de genes Tropicarne (Domínguez, 2002).

Cuadro 3.2. Estimadores de los coeficientes de regresión lineal (kg/1% F) de peso al nacimiento, sobre consanguinidad del animal (Fc) y de la madre (Fm) en diferentes razas de ganado bovino para carne

Raza	Fc	Fm	Autor(es)
Hereford	-0.04±0.02*	0.05±0.02*	Ferreira <i>et al.</i> (1999)
Hereford	-0.06±0.01 ^{N.S.}	-0.05±0.01*	Pariacote <i>et al.</i> (1998)
AX y AXBX ¹	-0.04±0.04 ^{N.S.}		Burrow (1998)
Hereford	-0.08±0.01*	-0.02±0.01 ^{N.S.}	Snelling <i>et al.</i> (1996)
Indubrasil	0.18±0.09 ^{N.S.}		Ávila (1993)
Hereford	-0.04±0.02*	-0.01±0.02 ^{N.S.}	MacNeil <i>et al.</i> (1992)
Romosinuano	-0.06±0.03*	-0.01±0.05 ^{N.S.}	Ruiz (1992)

¹AX: 25% Hereford, 25% Shorthorn, y 50% Africander; AXBX: 25% Hereford, 25% Brahman, 25% Shorthorn, y 25% Africander.

* (P<0.05).

^{N.S.} No significativo.

Algunos autores (Cuadro 3.2) han encontrado que Fc y Fm afectan el PN, con efectos variables dependiendo de la población. En las investigaciones de Burrow (1998), Pariacote *et al.* (1998) y

Ávila (1993), el efecto de Fc no fue significativo ($P>0.05$) y en los de Snelling *et al.* (1996), MacNeil *et al.* (1992) y Ruiz (1992) el efecto de Fm tampoco lo fue ($P>0.05$). El Fc causó una reducción ($P<0.05$) en el PN que varió de -0.04 a -0.08 kg por cada unidad porcentual (cuadro 3.2). El Fm tuvo efectos ($P<0.05$) antagónicos en el PN, mientras que Pariacote *et al.* (1998), encontraron una reducción de 0.05 kg por cada unidad porcentual de incremento en Fm, Ferreira *et al.* (1999) observaron un aumento de la misma magnitud, (Cuadro 3.2).

Cualquier cambio hacia el aumento o disminución del PN se considera indeseable, ya que la disminución del PN afectará la sobrevivencia del becerro, y el aumento del PN se asocia con una mayor dificultad al parto, por lo que el cambio en cualquier sentido afectará la rentabilidad de la empresa. El PN deberá mantenerse sin cambios siempre y cuando se encuentre en niveles que no comprometan la sobrevivencia de los becerros. Domínguez (2002) encontró en la raza Tropicarne que las tendencias genéticas para efectos directos y maternos observadas en el PN no fueron diferentes de cero ($P>0.05$), mencionando también que estas son adecuadas, por lo que la posibilidad de tener problemas al parto en un futuro cercano es baja.

Peso al destete (PD)

La característica PD es una expresión del potencial de crecimiento del becerro y la habilidad materna de la madre. El peso al destete es una característica que está correlacionada en forma positiva genética y fenotípicamente con otras características como las ganancias de peso pre y postdestete, y los pesos al nacimiento, al año y a los 18 meses. En los sistemas de producción de ganado de carne en condiciones de trópico el crecimiento predestete es importante, ya que es en esta etapa en la que el becerro presenta la tasa de crecimiento más alta de toda su vida, y constituye un indicador de la eficiencia económica de las explotaciones. Al destete el ganadero puede realizar una preselección de animales para reemplazo, además de que gran parte de las explotaciones ganaderas productoras de becerro para la engorda, es cuando realizan la venta de los mismos.

Algunos autores (Cuadro 3.3) han encontrado que la consanguinidad del animal (Fc) y de la madre (Fm) afectan detrimentalmente el PD, observándose que ambos tienen un efecto negativo sobre el PD, con rangos de -0.13 a -0.78 kg y de -0.01 a -0.56 kg por cada aumento de una unidad porcentual de Fc y Fm, respectivamente. Algunos trabajos donde Fc no tuvo efectos significativos ($P>0.05$) fueron realizados en la raza Hereford (Pariacote *et al.*, 1998) y en la raza

Indubrasil (Ávila, 1993); por su parte Ruiz (1992) no encontró efecto ($P<0.05$) de Fm sobre el PD en la raza Romosinuano. El efecto de Fc sobre PD puede deberse a la reducción del valor medio fenotípico a consecuencia del valor no aditivo de los genes y al aumento de homocigosis con efectos negativos para esta característica. El efecto de Fm sobre el PD puede deberse a la relación que existe entre la producción lechera de la madre y el PD de las crías, y que la Fm entonces reduzca la producción lechera y consecuentemente el PD.

Cuadro 3.3. Estimadores de los coeficientes de regresión lineal (kg/1% F) de peso al destete sobre consanguinidad del animal (Fc) y de la madre (Fm) en diferentes razas de ganado bovino para carne

Raza	Fc	Fm	Autor(es)
Hereford	-0.20*	-0.01*	Duangjinda <i>et al.</i> (2001)
Gelbvieh	-0.18*	-0.02*	
Charolais	-0.13*	-0.02*	
Hereford	-0.37±0.10*	-0.12±0.10*	Ferreira <i>et al.</i> (1999)
AX y AXBX ¹	-0.72±0.17**		Burrow (1998)
Hereford	-0.44±0.07 ^{N.S.}	-0.56±0.08*	Pariacote <i>et al.</i> (1998)
Hereford	-0.49±0.07*	-0.38±0.08*	Snelling <i>et al.</i> (1996)
Indubrasil	0.24±0.67 ^{N.S.}		Ávila (1993)
Romosinuano	-0.78±0.16**	-0.46±0.29 ^{N.S.}	Ruiz (1992)

¹AX: 25% Hereford, 25% Shorthorn, y 50% Africander; AXBX: 25% Hereford, 25% Brahman, 25% Shorthorn, y 25% Africander.

* ($P<0.05$).

** ($P<0.01$).

^{N.S.} No significativo.

Desde el punto de vista económico la empresa pecuaria tiene como objetivo el incrementar la velocidad de crecimiento de los terneros y consecuentemente favorecer o mejorar los factores que contribuyan a aumentar los pesos a determinada edad, por lo que, la consanguinidad del animal y de la madre deberán evitarse por el efecto detrimental que tienen sobre esta característica.

Domínguez (2002) encontró en la raza Tropicarne que la tendencia genética para efectos directos observados en el PD fue de 47.4 g/año, mientras que la correspondiente a los efectos maternos no fue estadísticamente diferente de cero ($P>0.05$), estas tendencias aunque de baja magnitud, indican que los programas de selección aplicados por los productores de esta raza han sido positivos, pero que pueden mejorarse con la aplicación de nuevos esquemas de selección basados en la utilización de los valores genéticos de los animales. Cunningham y Klei (1995) indicaron que en la raza Simmental en los Estados Unidos de América, el uso de la selección utilizando las

diferencias esperadas en la progenie (EPD) incrementa la probabilidad de realizar decisiones correctas de selección, en comparación con el uso de registros fenotípicos ajustados.

Peso al año (PA)

El PA está correlacionado positivamente con la ganancia de peso postdestete y el peso a los 18 meses; es el segundo momento cuando el ganadero hace la selección para determinar sus reemplazos, y principalmente en el centro de nuestro país y en las regiones tropicales, es la edad de la venta de animales a los engordadores nacionales de ganado. Domínguez (2002) indica que el efecto de la edad de la vaca al parto en la ganancia postdestete se atribuye al efecto ambiental proporcionado al becerro hasta el destete, por lo que, si una madre proporciona un efecto adecuado hasta el destete, la ganancia postdestete dependerá únicamente de la habilidad propia del becerro, sin embargo, si la habilidad materna es inadecuada, el becerro puede experimentar cierto crecimiento compensatorio, o en caso contrario si el efecto materno en el peso al destete es excesivo la ganancia postdestete se reducirá. Cuando las condiciones predestete son desfavorables, este efecto se mantiene como efecto residual en el crecimiento postdestete.

Cuadro 3.4. Estimadores de los coeficientes de regresión lineal (kg/1% F) de peso al año, sobre consanguinidad del animal (Fc) y de la madre (Fm) en diferentes razas de ganado bovino para carne

Raza	Fc	Fm	Autor(es)
Piedmontese	-0.69*	-0.21*	Fioretti <i>et al.</i> (2002)
Hereford	-0.51±0.12*	-0.01±0.01 ^{N.S.}	Ferreira <i>et al.</i> (1999)
AX y AXBX ¹	-1.07±0.19**		Burrow (1998)
Romosinuano	-1.10±0.40**		Ruiz (1992)

¹AX: 25% Hereford, 25% Shorthorn, y 50% Africander; AXBX: 25% Hereford, 25% Brahman, 25% Shorthorn, y 25% Africander.

* (P<0.05).

** (P<0.01).

^{N.S.} No significativo.

En el Cuadro 3.4 se muestran los efectos de la consanguinidad del animal y de la madre sobre PA en diversas razas de ganado bovino, resultado de varias investigaciones. De acuerdo con este cuadro el efecto de Fc y Fm es negativo con rangos de -0.51 a -1.1 kg y de -0.21 kg de PA por cada aumento de una unidad porcentual de Fc y Fm, respectivamente. De manera general puede observarse que el efecto de Fc sobre esta característica es mayor que el de Fm. Similarmente el efecto de Fm en esta característica es menor con respecto al que ejerce sobre el PD. De los

trabajos revisados Ruiz (1992) en ganado Romosinuano no encontró efectos significativos ($P>0.05$) de Fm en esta característica. La reducción en el comportamiento fenotípico ocasionada por Fc y Fm en el peso al año, influye directamente sobre los ingresos por la venta de carne en estas explotaciones, estas pérdidas aumentan conforme el coeficiente de consanguinidad se incrementa. Domínguez (2002) encontró en la raza Tropicarne que las tendencias genéticas para efectos directos y maternos para PA fueron de 162 y 49 g/año, respectivamente. Al igual que para la característica PD, las tendencias para PA son de baja magnitud, pero posibles de mejorar con la aplicación de esquemas de selección basados en la utilización de valores genéticos de los animales.

Peso a los 18 meses (P18M)

Esta característica está asociada con la edad al mercado en los machos, y en las hembras con la del empadre; es importante ya que es la última oportunidad que tiene el ganadero para seleccionar sus reemplazos. Dentro de los principales factores que influyen sobre esta característica están sexo de la cría, año y época de nacimiento, rancho y las interacciones sexo por año, año por época y año por rancho, el efecto aleatorio de vaca anidada dentro de rancho y la covariables lineal y cuadrática de proporción de genes Tropicarne, aunque se han observado efectos residuales de edad de la madre al parto (Domínguez, 2002).

Cuadro 3.5. Estimadores de coeficientes de regresión lineal (kg/1% F) de peso a los 18 meses, sobre consanguinidad del animal (Fc) y de la madre (Fm) en diferentes razas de ganado bovino para carne

Raza	Fc	Autor(es)
AX y AXBX ¹	-1.49±0.24**	Burrow (1998)
Indubrasil	-1.12±0.57*	Ávila (1993)
Romosinuano	-1.90±0.50**	Ruiz (1992)

¹AX: 25% Hereford, 25% Shorthorn, y 50% Africander; AXBX: 25% Hereford, 25% Brahman, 25% Shorthorn, y 25% Africander.

* ($P<0.05$).

** ($P<0.01$).

La consanguinidad de la madre no afecta el P18M, ya que la habilidad de crecimiento y ganancia de peso postdestete dependen mayormente de los efectos genéticos directos, y de las condiciones ambientales que rodeen al animal. El incremento de una unidad porcentual en Fc causó reducciones ($P<0.05$) que variaron de -1.12 a -1.90 kg en P18M (Cuadro 3.5). En general, los estimadores de los coeficientes de regresión en términos absolutos de P18M sobre la

consanguinidad del animal son de mayor valor que aquellos correspondientes a las características descritas anteriormente.

En un estudio llevado a cabo por McCurley *et al.* (1984) se encontró que por cada unidad porcentual de consanguinidad del animal, se disminuía en 2.03, 2.26 y 1.95 kg ($P < 0.01$) el peso maduro de las razas Angus, Hereford y Shorthorn, respectivamente, encontrando un efecto absoluto mayor de Fc sobre peso vivo a medida que éste es mas cercano al peso maduro del animal, lo que puede ser debido a que el efecto de los genes propios del animal es mayor sobre el peso maduro y entonces los efectos ambientales o la consanguinidad de la madre tienen menor influencia.

Domínguez (2002) encontró que el valor genético directo para P18M del ganado Tropicarne se incrementó 248 g/año, el cual es de baja magnitud, y posible de mejorar con la aplicación de esquemas de selección basados en la utilización de valores genéticos de los animales.

Ganancia diaria de peso predestete (GPPE)

Esta característica indica el potencial para crecimiento del individuo y el ambiente materno proporcionados por la vaca a su cría, además de los recursos forrajeros en el rancho para alcanzar mayores pesos al destete. Dentro de los principales factores que influyen sobre esta característica (Domínguez, 2002) están sexo de la cría, año y época de nacimiento, rancho, el efecto aleatorio de vaca anidada dentro de rancho, las interacciones sexo por año, año por época, y las covariable lineal y cuadrática de edad de la madre al parto y lineal de peso al destete.

En el Cuadro 3.6 se presentan resultados de trabajos que encontraron efectos significativos ($P < 0.05$) de la consanguinidad del animal sobre GPPE, con disminuciones de 3.3 a 3.4 g al aumentar una unidad porcentual de Fc. Al incrementarse Fm en una unidad porcentual, la GPPE disminuye ($P < 0.05$) de 2.5 a 3.0 g (Cuadro 3.6). Burrow (1998) en ganado sintético y Ruiz (1992) en ganado Romosinuano, encontraron efectos importantes ($P < 0.01$) de Fc en esta característica, mas no así de Fm. Por el contrario, Pariacote *et al.* (1998) y MacNeil *et al.* (1992), ambos en la raza Hereford encontraron efectos ($P < 0.05$) de Fm sobre esta característica, pero no así de Fc. Por otra parte, Ávila (1993) no encontró efectos de Fc ni de Fm sobre GPPE. Estos resultados contradictorios sugieren incertidumbre del efecto de Fc y Fm sobre esta característica.

Cuadro 3.6. Estimadores de coeficientes de regresión lineal (g/1% F) de ganancia diaria de peso predestete, sobre consanguinidad del animal (Fc) y de la madre (Fm) en diferentes razas de ganado bovino para carne

Raza	Fc	Fm	Autor(es)
Hereford	-1.89±0.31 ^{N.S.}	-2.52±0.39*	Pariacote <i>et al.</i> (1998)
AX y AXBX ¹	-3.40±0.90**	-	Burrow (1998)
Indubrasil	-0.65±2.40 ^{N.S.}	-	Ávila (1993)
Romosinuano	-3.30±0.74**	-	Ruiz (1992)
Hereford	-0.38±0.41 ^{N.S.}	-2.99±0.40*	MacNeil <i>et al.</i> (1992)

¹AX: 25% Hereford, 25% Shorthorn, y 50% Africander; AXBX: 25% Hereford, 25% Brahman, 25% Shorthorn, y 25% Africander.

* (P<0.05).

** (P<0.01).

^{N.S.} No significativo.

Ganancia diaria de peso postdestete (GPOS)

La ganancia diaria de peso postdestete (GPOS) indica la habilidad de la cría para recuperarse del estrés del destete y de aprovechar los recursos alimenticios existentes en el rancho. McCurley *et al.* (1984), mencionan que Fm tiene un efecto indirecto positivo sobre esta característica cuando la producción de leche de la madre disminuye en la fase predestete, lo que obliga a la cría a depender más de los recursos del rancho y menos de la leche de su madre; por lo que el estrés del destete se presentará con menor intensidad debido al hábito alimenticio durante la etapa predestete.

El incremento de la GPOS es deseado en las explotaciones pecuarias de ganado para carne, ya que disminuye el tiempo en que el animal sale al mercado, disminuyéndose el tiempo de recuperación de la inversión.

La consanguinidad de la madre no afecta significativamente esta característica. Por el contrario la mayoría de los autores han encontrado efectos significativos de Fc para esta característica (Cuadro 3.7). Se ha observado una disminución en GPOS que varía entre 1.9 a 3.7 g por cada unidad porcentual de incremento en Fc. Sólo Ruiz (1992) con ganado Romosinuano no encontró efecto importante (P>0.05) de Fc sobre GPOS, por lo que, se deben realizar análisis de los efectos de consanguinidad del animal y de la madre en las diferentes poblaciones de ganado, para cuantificar los efectos de Fc y Fm sobre esta característica. En general, la consanguinidad del animal y de la madre debe evitarse por la depresión que ocasiona en características de crecimiento desde el nacimiento hasta el peso maduro.

Cuadro 3.7. Estimadores de los coeficientes de regresión lineal (g/1% F) de ganancia diaria de peso postdestete, sobre consanguinidad del animal en diferentes razas de ganado bovino para carne

Raza	Fc	Fm	Autor(es)
AX y AXBX ¹	-2.40±0.60**	-	Burrow (1998)
Hereford	-2.50±0.50*	-	Snelling et al. (1996)
Indubrasil	-3.70±1.40*	-	Ávila (1993)
Hereford	-1.90±0.60*	-0.10±5.70 ^{N.S.}	MacNeil et al. (1992)
Romosinuano	-1.10±1.50 ^{N.S.}	-	Ruiz (1992)

¹AX: 25% Hereford, 25% Shorthorn, y 50% Africander; AXBX: 25% Hereford, 25% Brahman, 25% Shorthorn, y 25% Africander.

* (P<0.05).

** (P<0.01).

^{N.S.} No significativo.

2.2.2 Características reproductivas

Uno de los aspectos más importantes en un sistema de explotación pecuaria es la reproducción, ya que determina el número de individuos que estarán disponibles para venta y reemplazo. Cuando la tasa reproductiva es alta, la intensidad de selección puede ser mayor y con esto la respuesta a la selección. Por otra parte, el impacto que tiene el buen comportamiento reproductivo de los animales sobre el éxito económico de las empresas pecuarias es determinante. Burrow (1998) indica que las características que se encuentran influenciadas mayormente por efectos genéticos no aditivos y ambientales, como lo son las reproductivas y de sobrevivencia, sufren la depresión endogámica con más intensidad, de aquí la importancia de cuantificar el efecto de la consanguinidad para las características reproductivas.

Edad al primer parto

La edad al primer parto está influenciada por la edad y el peso a la pubertad de las novillas y por el manejo del rancho. Smith *et al.* (1989) encontraron que en ganado Hereford y Angus, al incrementar una unidad porcentual el coeficiente de consanguinidad se retrasa la edad a la pubertad en 0.15 días y la edad al primer parto en 0.21 días. Fioretti *et al.* (2002) en ganado Piedmontese encontraron que al incrementar una unidad porcentual el coeficiente de consanguinidad del animal se retrasaba en 0.62 días la edad a la primera inseminación.

Cuadro 3.8. Estimadores de los coeficientes de regresión lineal (días/1% F) para edad al primer parto, sobre consanguinidad del animal en diferentes razas de ganado bovino

Raza	Fc	Autor(es)
Piedmontese	0.76*	Fioretti <i>et al.</i> (2002)
Holstein	0.44±0.18*	Smith <i>et al.</i> (1998)
Indubrasil	2.14±14.03 ^{N.S.}	Ávila (1993)
Romosinuano	2.00±2.00 ^{N.S.}	Ruiz (1992)
Criollo Lechero Centroamericano	6.20±2.90*	
Nelore	2.36±0.95*	Drumond <i>et al.</i> (1990)

* (P<0.05).

^{N.S.} No significativo.

En el Cuadro 3.8 se presenta información del efecto de consanguinidad del animal sobre edad al primer parto, observándose que Fc tiene un efecto negativo al incrementar la EPP, con rangos de 0.44 a 6.20 días por cada aumento de una unidad porcentual de Fc. Ruiz (1992) en ganado Romosinuano, y Ávila (1993) en ganado Indubrasil, no encontraron efectos significativos de Fc para esta característica.

Thompson *et al.* (2000a) en ganado Jersey, encontraron que los efectos de Fc sobre EPP se presentan a niveles de consanguinidad mayores de 10%, asociándose ésta con mayores edades al parto. Sin embargo, niveles intermedios de consanguinidad (aproximadamente 5%) fueron asociados con menores edades al parto, de aproximadamente 6 días menos que en vacas no consanguíneas. Esto puede sugerir un porcentaje de consanguinidad óptimo en la población para esta característica. En ganado Holstein Thompson *et al.* (2000b), encontraron el mismo efecto de consanguinidad sobre la edad al primer parto observado en ganado Jersey, donde niveles de consanguinidad menores de 7% parecen estar asociados con menores edades al parto, aproximadamente de 3 a 5 días menos que en vacas no consanguíneas. Niveles superiores al 10% de consanguinidad se asociaron con mayores edades al parto. La edad al primer parto está relacionada con el intervalo generacional y por lo tanto, con respuesta a la selección; altos niveles de consanguinidad aumentarán la edad al primer parto y por lo tanto el intervalo generacional, reduciéndose la respuesta anual a la selección.

Intervalo entre partos

Burrow (1998) encontró que Fc no afectó significativamente (P>0.05) el intervalo entre partos, cuando las novillas eran apareadas por primera vez a los 27 meses de edad y cuando las vacas

eran apareadas por tercera o subsecuente vez. Sin embargo, Fc redujo el porcentaje de fertilidad e incrementó el intervalo entre partos ($P<0.05$), cuando las vaquillas fueron apareadas por segunda vez con su ternero al pie, lo que indicaría que el efecto de Fc sobre esta característica parece acentuarse por las demandas de la vaquilla para su crecimiento y para mantener la producción de leche para su cría. Estos efectos fueron estadísticamente significativos y desfavorables, en un modelo que incluía peso de la vaca como una covariable, indicando que el efecto fue independiente de los efectos de consanguinidad del animal sobre peso vivo.

Cuadro 3.9. Estimadores de los coeficientes de regresión lineal (días/1% F) para intervalo entre partos, sobre consanguinidad del animal en diferentes razas de ganado bovino

Raza	Fc	Autor(es)
AX y AXBX	$1.39 \pm 0.62^{*a}$	Burrow (1998)
Holstein	$0.35 \pm 0.15^{*}$	Smith <i>et al.</i> (1998)
Indubrasil	$0.63 \pm 6.23^{N.S.}$	Ávila (1993)
Romosinuano	$-2.00 \pm 1.00^{N.S.}$	Ruiz (1992)
Criollo Lechero Centroamericano	$-1.00 \pm 1.00^{N.S.}$	
Nelore	$0.84 \pm 0.57^{**}$	Drumond <i>et al.</i> (1990)
Ayrshire	$0.23 \pm 0.22^{*a}$	Hudson y VanVleck (1984)
Guerney	$0.27 \pm 0.29^{*a}$	
Holstein	$0.09 \pm 0.01^{*a}$	
Jersey	$0.63 \pm 0.04^{*a}$	
Pardo Suizo	$0.03 \pm 0.88^{*a}$	

^aPrimer intervalo entre partos.

¹AX: 25% Hereford; 25% Shorthorn; y 50% Africander y AXBX: 25% Hereford; 25% Brahman; 25% Shorthorn; y 25% Africander.

* ($P<0.05$).

** ($P<0.01$).

N.S. No significativo.

En el Cuadro 3.9 se presenta información del efecto de consanguinidad sobre el intervalo entre partos, observándose que la consanguinidad del animal tiene un efecto negativo al incrementarse el intervalo entre partos, con rangos de 0.03 a 1.39 días por el aumento de una unidad porcentual de Fc. Ruiz (1992) en ganado Romosinuano y Criollo Lechero Centroamericano y Ávila (1993) en ganado Indubrasil no encontraron efectos ($P>0.05$) de Fc sobre esta característica. El aumento en el intervalo entre partos, es indeseable para las explotaciones ganaderas productoras de carne, ya que incrementa la etapa improductiva de las hembras en el hato.

3. Métodos para controlar consanguinidad en poblaciones cerradas

Durante mucho tiempo, los criadores de ganado han reconocido que la consanguinidad por una parte puede incrementar la frecuencia de animales homocigotos para genes deseables, pero por la otra y la más probable, incrementa la frecuencia de animales homocigotos para genes indeseables y por lo tanto, la depresión en productividad y viabilidad de animales consanguíneos, por lo que, más investigadores y ganaderos se han preocupado por evitar o mantener el nivel de consanguinidad lo más bajo posible.

La selección direccional de toda clase incrementará consanguinidad en una raza o línea (McDaniel, 2001). En poblaciones donde se utilizan tecnologías modernas de reproducción tales como semen congelado, inseminación artificial y transferencia de embriones; el número de reproductores se reduce, lo que incrementará la consanguinidad a una tasa mayor. Cuando se trata de poblaciones cerradas, el problema es aún mayor.

La consanguinidad se acumula rápidamente en las especies de ganado comercial, debido a programas de selección genética cada vez más eficientes (Weigel, 2001). La estimación de coeficientes de consanguinidad basados en datos históricos no es factible, debido a que los datos de pedigrí iniciales no fueron registrados, por lo que, la estimación de consanguinidad debe calcularse sobre un año base (Weigel, 2001). Este autor describe varios métodos para controlar la consanguinidad.

Restricciones sobre el tamaño familiar

Por definición, consanguinidad se presenta cuando individuos emparentados son seleccionados y éstos o sus hijos se aparean entre sí. Por lo tanto, esta metodología se basa primordialmente en seleccionar animales con restricciones sobre el tamaño familiar, disminuyendo el número de medios hermanos o hermanos completos seleccionados (Weigel, 2001).

Woolliams (1989) indica que la restricción en la selección de hermanos incrementa el tamaño de la población efectiva y reduce la consanguinidad en hatos núcleos, tipo ovulación múltiple y transferencia de embriones (MOET). Los esquemas de apareamiento factorial (varios sementales aportan el semen para la fertilización de los óvulos de la vaca donadora) con incremento del número de sementales por vaca, generalmente presentan baja consanguinidad con respecto a esquemas jerárquicos (un solo semental aporta el semen para la fertilización de los óvulos de la vaca donadora), con poca o sin reducción en respuesta genética en estos mismos hatos núcleos.

En características con alta heredabilidad, la posibilidad de selección conjunta de familiares es baja, aun con la presencia de la correlación de valores genéticos estimados de parientes (Woolliams, 1989).

Creación de sublíneas

Esta metodología considera la creación de sublíneas y el posterior apareamiento entre animales de diferente línea. La creación de sublíneas puede reducir substancialmente la consanguinidad, con pequeñas pérdidas en ganancia genética (Weigel, 2001).

Terawaki *et al.* (1998) estudiaron varias estrategias para dividir un hato núcleo MOET en dos sublíneas simulando 10 generaciones de selección múltiple. La primera estrategia (control) consistió en un simple hato núcleo de 200 animales. La segunda estrategia consistió en dos sublíneas de 100 animales cada una y selección independiente dentro de cada sublínea. La tercera estrategia consistió en dos sublíneas de 100 animales cada una con intercruzamiento de sublíneas en la siguiente generación. La cuarta estrategia consistió en dos sublíneas de 100 animales cada una con intercruzamiento en cada generación. La respuesta genética por año fue de 112, 92, 95, y 92 kg de leche, respectivamente, para estos cuatro esquemas de apareamiento, y el incremento en consanguinidad por año fue 2.3, 3.4, 1.7 y 1.6 %, respectivamente. Estos autores indican que la creación de sublíneas puede reducir la consanguinidad, aunque con una pequeña disminución en la ganancia genética.

Programas de apareamiento

Esta metodología considera la identificación de machos y hembras, evitando el apareamiento de animales emparentados. Boswergwer *et al.* (1994) al seleccionar sementales Holstein para maximizar la habilidad de transmisión predicha para producción de leche (PTA para leche), compararon tres estrategias de apareamiento: apareamientos aleatorios; apareamientos evitando el de padres con hijos y de medios hermanos; y ajustando máximas PTA para leche por pérdidas de 22.7 kg de leche por 1% de consanguinidad. Los coeficientes de consanguinidad promedio de su progenie fueron 2.82, 2.61 y 1.34% respectivamente, para cada una de las tres estrategias. El promedio de PTA leche de los sementales seleccionados fue similar en las tres estrategias de apareamiento, pero con una gran diferencia en el coeficiente de consanguinidad promedio de la progenie; la planeación de apareamientos para maximizar PTA para leche ajustando por depresión consanguínea mantuvo los niveles de la consanguinidad a los niveles más bajos.

Resultados similares encontraron Weigel y Lin (2000) con las estrategias: consanguinidad mínima; máxima vida neta rentable sujeta a un nivel de consanguinidad máxima; y máxima vida rentable ajustada por depresión consanguínea (asumiendo una pérdida de US\$23.11 en ingresos de por vida por 1% de consanguinidad). Estos autores encontraron que cualquiera de las tres estrategias de apareamientos puede utilizarse para disminuir la consanguinidad e incrementar la rentabilidad de por vida del ganado Holstein y Jersey. Una ventaja de estos programas de apareamiento, utilizados para corregir fallas en la apariencia física de vacas lecheras, es que las modificaciones para considerar consanguinidad son sencillas (Weigel, 2001), y los programas de selección de apareamientos pueden reducir la consanguinidad de la siguiente generación.

Modificaciones a BLUP

Con el uso del predictor de valor genético, obtenidos mediante el mejor predictor lineal insesgado (BLUP), y selección intensa en el ganado se obtienen mayores progresos genéticos. Sin embargo, el método utiliza información de parentescos, existiendo la posibilidad de seleccionar animales superiores que estén emparentados, lo que podría aumentar la consanguinidad (Quinton y Smith, 1995). Estrategias tales como aumentar artificialmente la heredabilidad en el sistema de evaluación BLUP, y seleccionar animales con EBV promedio en forma conjunta con animales con EVB superior (incrementando el tamaño efectivo de la población), resultan en bajos coeficientes de consanguinidad con mínimas pérdidas de respuesta a la selección.

Teoría de contribución óptima

Esta teoría determina la contribución óptima de los animales seleccionados sobre la consanguinidad y la respuesta genética en generaciones futuras; la metodología de esta teoría (Weigel y Lin, 2002) se basa en obtener el vector de contribuciones óptimas ($\mathbf{c}$) para cada semental o vientre y en el cálculo de la matriz de parentescos ($\mathbf{A}$) entre todos los animales candidatos a selección; similarmente debe construirse un vector de predictores de valores genéticos ($\mathbf{u}$) para la característica a seleccionar de todos los animales candidatos a selección. El mérito genético promedio ($\mathbf{c}'\mathbf{u}$) del grupo se maximiza, sujeto a la restricción $\mathbf{c}'\mathbf{A}\mathbf{c} \leq \mathbf{x}$, donde el promedio de las relaciones genéticas aditivas del grupo seleccionado ($\mathbf{x}$) debe ser asumido.

El vector de contribuciones óptimas indica la proporción de descendencia que debe tener cada semental o vientre. Si bien esta metodología de la contribución óptima provee un marco útil para balancear selección y consanguinidad, es necesario definir la proporción de cambio de

consanguinidad por generación, y su implementación en una población dispersa parece ser más difícil que su aplicación en hatos cerrados (Weigel y Lin, 2002).

4. Efecto de la consanguinidad en la predicción de valores genéticos

Las características de crecimiento y reproductivas en los programas de mejoramiento genético de los bovinos para carne son importantes para definir los criterios de selección, para detectar a los animales con alto valor genético para la o las características a seleccionar. Uno de los criterios para la obtención de los valores genéticos de los animales es mediante los mejores predictores lineales insesgados (BLUP), que involucra la información productiva de todos los parientes y la información genealógica a través de la matriz de relaciones genéticas aditivas entre ellos, utilizando un modelo animal (Van Vleck y Núñez-Domínguez, 1992). La manera de expresar el valor genético de un animal en bovinos para carne es a través de la Diferencia Esperada en la Progenie (DEP), la cual representa una mitad del valor genético, es decir la proporción que se transmite de padres a hijos.

Con el poder computacional actual y la capacidad de los programas, se ha facilitado el uso de modelos y procedimientos estadísticos más sofisticados para estimar componentes de (co)varianza y predecir valores genéticos. Ferreira *et al.* (1999) indican que cuando existe consanguinidad deben implementarse procedimientos para obtener la matriz de parentescos que contabilice sus efectos. Snelling *et al.* (1996) mencionan que los efectos de la consanguinidad sobre el comportamiento animal deben considerarse en las evaluaciones genéticas.

Ferreira *et al.* (1999) en la raza Hereford compararon 12 modelos que incluyeron los efectos fijos de año, sexo y edad de la madre, las covariables día de nacimiento y los coeficientes de consanguinidad del animal y de la madre (sólo en 9 modelos) y los efectos genéticos directo y materno, el efecto del ambiente permanente materno y la covarianza entre efectos directo y materno, encontrando que la heredabilidad estimada y la posición de los valores genéticos predichos fueron similares al utilizar o no el coeficiente de consanguinidad como covariable dentro del modelo. Los modelos animal y semental-madre que incluyen los efectos genéticos directo y materno, el efecto de ambiente permanente materno y la covariable de coeficiente de consanguinidad, fueron los que mejor se ajustaron a los datos para estimar varianzas y covarianzas para efectos genéticos directo y materno, y efectos de ambiente permanente materno. Por otra parte, Fioretti *et al.* (2002) encontraron que los coeficientes de consanguinidad parecen

no ser necesarios como covariables en los modelos para la estimación de componentes de varianza y la predicción de valores genéticos para los datos de una población de ganado Piedmontese. Sin embargo, indican que los coeficientes de consanguinidad deben ser considerados para planear los apareamientos de los sementales y vientres, para limitar el incremento en la consanguinidad en las siguientes generaciones, dados los efectos de consanguinidad sobre características de crecimiento y reproductivas.

En bovinos para carne y particularmente en el ganado Tropicarne se requiere investigar las fuentes de variación que potencialmente deben considerarse en el modelo para la predicción de valores genéticos, por lo que un paso importante en el análisis es la identificación del mejor modelo, y consecuentemente la estimación de parámetros genéticos con base en la información de esta población (Domínguez, 2002).

LITERATURA CITADA

- Allaire, F. R., and C. R. Henderson. 1965. Inbreeding within artificially bred dairy cattle population. *J. Dairy Sci.* 48:1366-1371.
- Ávila M., G. A. 1993. Niveles y efectos de consanguinidad sobre características de crecimiento y reproductivas en ganado Indubrasil y Pardo Suizo bajo un ambiente tropical. Tesis Ing. Agr. Zootecnista. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Méx. 80 p.
- Boswergwer, B. H. G., T. J. Lawlor, Jr., and F. R. Allaire. 1994. Expected sire progeny production gain by balancing inbreeding depression and selection. *J. Dairy Sci.* 77(Suppl. 1):201(Abstr.).
- Burrow, H. M. 1998. The effects of inbreeding on productive and adaptive traits and temperament of tropical beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 55:227-243.
- Casanova, L., C. Hagger, N. Kusnzi, and M. Schneeberger. 1992. Inbreeding in Swiss Braunvieh and its influence on breeding values predicted from a repeatability animal model. *J. Dairy Sci.* 75:1119-1126.
- Cunningham, B. E., and L. Klei. 1995. Performance and genetic trends in purebred Simmental for regions of the United States. *J. Anim. Sci.* 73:2540-2547.
- Domínguez V., J. 2002. Evaluación genética para características de crecimiento en ganado bovino Tropicarne. Tesis de Maestría en Ciencias. Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 137 p.
- Drumond, A. M., C. G. Fonseca, J. C. C. Pereira, and H. N. Oliveira. 1990. Efeito da endogamia sobre a idade ao primeiro parto e o intervalo entre partos em uma população de elite da raça Nelore. *Arq. Bras. Med. Vet. Zoot.* 42:103-119.
- Duangjinda, M., J. K. Bertrand, I. Misztal, and T. Druet. 2001. Estimation of additive and nonadditive genetic variances in Hereford, Gelbvieh, and Charolais by method R. *J. Anim. Sci.* 79:2997-3001.
- Falconer, D. S., and T. F. C. Mackay. 1996. *An Introduction to Quantitative Genetics*. 4th ed. Longman Pub. London. 464 p.
- Faria, F. J. C., A. E. Vercesi Filho, F. E. Madalena, and L. A. Josahkian. 2002. Pedigree analysis in the Brazilian Zebu breeds. *Proc. 7th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod.* 33:585-588.
- Ferraz, J. B. S., J. P. Eler, and P. M. T. Ribeiro. 2000. Genetic study of Santa Gertrudis cattle in Brazil. *Livestock Research for Rural Development*. 12(2) (<http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd12/2/ferr122a.htm>). 06/03/02.
- Ferreira G., B., M. D. MacNeil, and L. D. Van Vleck. 1999. Variance components and breeding values for growth traits from different statistical models. *J. Anim. Sci.* 77:2641-2650.
- Fioretti, M., A. Rosati, C. Pieramati, and L. D. Van Vleck. 2002. Effect of including inbreeding coefficients for animal and dam on estimates of genetic parameters and prediction of breeding values for reproductive and growth traits of Piedmontese cattle. *Livest. Prod. Sci.* 74:137-145.

- Hudson, G. F. S., and L. D. Van Vleck. 1984. Inbreeding of artificially bred dairy cattle in the northeastern United States. *J. Dairy Sci.* 67:161-170.
- Lasley, J. F. 1991. *Genética del Mejoramiento del Ganado*. 2da edición. Editorial LIMUSA, México, D. F. 220 p.
- McDaniel, B. T. 2001. Uncontrolled inbreeding. *J. Dairy Sci.* 84(E. Suppl):E185-E186.
- MacNeil, M. D., D. D. Dearborn, L. V. Cundiff, C. A. Dinkel, and K. E. Gregory. 1989. Effects of inbreeding and heterosis in Hereford females on fertility, calf survival and preweaning growth. *J. Anim. Sci.* 67:895-901.
- MacNeil, M. D., J. J. Urick, S. Newman, and B. W. Knapp. 1992. Selection for post-weaning growth in inbred Hereford cattle: The fort Keogh, Montana Line 1 example. *J. Anim. Sci.* 70:723-733.
- McCurley, J. R., W. T. Butts, Jr., and K. P. Bovard. 1984. Growth patterns of Angus, Hereford and Shorthorn cattle. I. Comparison of inbred and non inbred lines, changes in patterns over time and effects of level of inbreeding and reproductive performance. *J. Anim. Sci.* 59:1194-1204.
- Pariacote, F., L. D. Van Vleck, and M. D. MacNeil. 1998. Effects of inbreeding and heterozygosity on preweaning traits in a closed population of Herefords under selection. *J. Anim. Sci.* 76:1303-1310.
- Pirchner, F. 1985. Genetic structure of populations. 1. Closed populations or mating among related individuals. In: *World Animal Science. General and Quantitative Genetics*. A. B. Chapman. (ed.). Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. p 227-250.
- Quinton, M., and C. Smith. 1995. Comparison of evaluation-selection systems for maximizing genetic response at the same level of inbreeding. *J. Anim. Sci.* 73:2208-2212.
- Ruiz F., A. 1992. Determinación de niveles críticos y efectos de consanguinidad sobre características productivas, reproductivas y de crecimiento en ganado Criollo Lechero Centroamericano y Romosinuano bajo condiciones de trópico húmedo. Tesis Mag. Sci. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 172 p.
- Smith, B. A., J. S. Brinks, and G. V. Richardson. 1989. Estimation of genetic parameters among reproductive and growth traits in yearling heifers. *J. Anim. Sci.* 67:2886-2891.
- Smith, L. A., B. G. Cassell, and R. E. Pearson. 1998. The effects of inbreeding on the lifetime performance of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 81:2729-2737.
- Snelling, W. M., M. D. MacNeil, D. D. Kress, D. C. Anderson, and M. W. Tess. 1996. Factors influencing genetic evaluations of linebred Hereford cattle in diverse environments. *J. Anim. Sci.* 74:1499-1510.
- Terawaki, Y., M. Susuki and Y. Fukui. 1998. Genetic response and inbreeding in a sub-population mating system for dairy cattle. *Proc. Sixth World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod.* 25:471-474.
- Thompson, G. M., and A. E. Freeman. 1967. Effects of inbreeding and selection in a closed Holstein-Friesian herd. *J. Dairy Sci.* 50:1824-1827.

- Thompson, J. R., R. W. Everett, and C. W. Wolfe. 2000a. Effects of inbreeding on production and survival in Jerseys. *J. Dairy Sci.* 83:2131-2138.
- Thompson, J. R., R. W. Everett, and N. L. Hammerschmidt. 2000b. Effects of inbreeding on production and survival in Holsteins. *J. Dairy Sci.* 83:1856-1864.
- Van Vleck, L. D. y R. Núñez-Domínguez. 1992. Evaluaciones genéticas de toros y vacas lecheras con el modelo animal. *Agrociencia Serie Ciencia Animal* 2(1):33-57.
- Warwick, E. J., y J. E. Legates. 1980. *Cría y Mejora del Ganado*. 3ª ed. McGraw-Hill. México, D. F. 623 p.
- Weigel, K. A. 2001. Controlling inbreeding in modern breeding programs. *J. Dairy Sci.* 84(E. Suppl.):E177-E184.
- Weigel, K. A., and S. W. Lin. 2000. Use of computerized mate selection programs to control inbreeding of Holstein and Jersey cattle in the next generation. *J. Dairy Sci.* 83:822-828.
- Weigel, K. A., and S. W. Lin. 2002. Controlling inbreeding by constraining the average relationship between parents of young bulls entering AI progeny test programs. *J. Dairy Sci.* 85:2376-2383.
- Woolliams, J. A. 1989. Modification of MOET nucleus breeding schemes to improve rates of genetic progress and decrease rates of inbreeding in dairy cattle. *Anim. Prod.* 49:1-14.
- Young, C. W. 1984. Inbreeding and the gene pool. *J. Dairy Sci* 67:472-477.
- Young, C. W., R. R. Bonczek, and D. G. Johnson. 1988. Inbreeding and relationship among registered Holsteins. *J. Dairy Sci.* 71:1659-1666.
- Young, C. W., and A. J. Seykora. 1996. Estimates of inbreeding and relationship among registered Holstein females in the United States. *J. Dairy Sci* 79:502-505.

IV. NIVELES Y EFECTOS DE CONSANGUINIDAD EN CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS DE LA RAZA BOVINA TROPICARNE¹

¹ Artículo por enviarse para su posible publicación en la revista Agrociencia.

RESUMEN

Con el objetivo de determinar los niveles y tendencias, y cuantificar los efectos de consanguinidad de la cría y de la madre en características reproductivas y de crecimiento en la raza Tropicarne, se analizó el pedigrí de 5024 animales nacidos de 1976 al 2001, 2040 registros de intervalo entre partos (IEP), 1040 de edad al primer parto (EPP), 4045 de peso al nacimiento (PN), 3734 de peso al destete ajustado a los ocho meses (PD), 2266 de peso al año (PA), 1879 de peso a los 18 meses (P18M), 3717 de ganancia diaria de peso predestete (GPPE), y 1878 de ganancia diaria de peso del destete a los 18 meses de edad (GPOS). El modelo incluyó los efectos de hato, sexo de la cría, año y época de nacimiento, interacciones dobles entre ellos, y las covariables lineal y cuadrática de consanguinidad del animal (Fc) y de la madre (Fm), edad de la madre al parto, y heterosis promedio individual y materna. El modelo excluyó algunas covariables o efectos principales dependiendo de la característica. Las medias y desviación estándar para Fc y Fm fueron 1.85 ± 3.65 y $1.28 \pm 3.13\%$, respectivamente, considerando todos los animales, y 3.49 ± 4.42 y $4.23 \pm 4.47\%$, considerando sólo los animales consanguíneos. El incremento anual en consanguinidad fue $0.12 \pm 0.01\%$ ($P < 0.01$), para Fc y para Fm. En el 2001, el 99 y 89% de las crías y madres fueron consanguíneas, con promedios de consanguinidad de 4.39 ± 4.30 y $2.48 \pm 3.84\%$, respectivamente. Por cada unidad porcentual de incremento en Fc, el IEP aumentó ($P < 0.05$) en 1.48 ± 0.68 días y por cada unidad porcentual de incremento en Fm, el PA aumentó ($P < 0.05$) en 0.30 ± 0.15 kg. No se observaron efectos significativos de Fc ($P > 0.51$) y Fm ($P > 0.27$) en las demás características. Aunque los niveles de consanguinidad actuales son bajos en esta población son bajos, conviene continuar con la planeación estricta de los apareamientos para reducir el incremento de consanguinidad.

Palabras clave: Tropicarne, Bovinos para carne, Consanguinidad, Trópico, Crecimiento, Reproducción

ABSTRACT

The objectives of this study were to determine the levels and trends, and to quantify the effects of inbreeding of the animal and dam on reproductive and growth traits in the Tropicarne breed. The pedigree of 5024 animals born from 1976 to 2001, 2040 records of calving interval (IEP), 1040 of age at first calving (EPP), 4045 of birth weight (PN), 3734 of weaning weight adjusted to eight months (PD), 2266 of yearling weight (PA), 1879 of 18 month weight (P18M), 3717 of preweaning daily gain (GPPE), and 1878 of average daily gain from weaning to 18 months of age (GPOS) were analyzed. The model included the fixed effects of herd, sex of the animal, year and season of birth, two-way significant interactions, and linear and quadratic covariables of inbreeding of the animal (Fc) and dam (Fm), age of the dam at calving, and average individual and maternal heterosis. No significant covariables or principal effects were deleted from the model. The mean and standard deviation for Fc and Fm were 1.85 ± 3.65 and 1.28 ± 3.13 % for the whole population, and 3.49 ± 4.42 and 4.23 ± 4.47 %, for the inbred animals. The annual increase in inbreeding was 0.12 ± 0.01 % ($P < 0.01$) for Fc and for Fm. In 2001, 99 and 89 % of the calves and dams were inbred, with average of inbreeding of 4.39 ± 4.30 and 2.48 ± 3.84 %, respectively. One percent increase in Fc increased ($P < 0.05$) IEP in 1.48 ± 0.68 days, and one percent increase in Fm increased the PA ($P < 0.05$) in 0.30 ± 0.15 kg. There were no significant effects of Fc ($P > 0.51$) and Fm ($P > 0.27$) for other traits. Although the current levels of inbreeding are low in this population, it is recommended to continue with the strict planning of matings in order to reduce the increase of inbreeding.

Key Words: Tropicarne, Beef Cattle, Inbreeding, Tropic, Growth, Reproduction

INTRODUCCIÓN

La consanguinidad se produce cuando se aparean individuos emparentados a través de uno o más ancestros en común. El estudio de la consanguinidad en producción animal es importante por que generalmente se asocia con ella una depresión en el comportamiento productivo y reproductivo de los animales (Falconer y Mackay, 1996).

Burrow (1998) estudiando características de crecimiento en dos razas sintéticas, encontró que por cada incremento porcentual en el coeficiente de consanguinidad del animal (F_c), se asoció un decremento de 0.04 ± 0.04 , 0.72 ± 0.17 , 1.07 ± 0.19 , 1.49 ± 0.24 kg en peso vivo al nacimiento, a los 6, 12, y 18 meses, respectivamente. Fioretti *et al.* (2002) encontraron en ganado Piedmontese, que por cada 1% de incremento en consanguinidad del animal correspondió una disminución de 0.12 kg en el peso vivo a los 120 días y de , 0.87 y 0.35 kg al año de machos y hembras, respectivamente, y que por cada 1% de incremento en el coeficiente de consanguinidad de la madre (F_m) corresponde un decremento de 0.01 kg en el peso vivo de sus crías a los 120 días, y de 0.03 y 0.01 kg en el peso al año de sus crías machos y hembras, respectivamente.

En características reproductivas de dos razas sintéticas, Burrow (1998) no encontró efectos significativos de F_c sobre la fertilidad de vacas ni de novillas apareadas por primera vez alrededor de los 27 meses de edad. Sin embargo, el F_c redujo el porcentaje de concepción e incrementó el intervalo entre partos de vaquillas que fueron apareadas con su ternero al pie, estos efectos fueron independientes del efecto de consanguinidad sobre peso vivo. Fioretti *et al.* (2002) en la raza Piedmontese, encontraron que por cada 1% de incremento en F_c corresponde un incremento de 0.62 y 0.76 días en la edad a la primera inseminación y primer parto, respectivamente. La consanguinidad no afecta todas las características con la misma intensidad, por lo que se requiere de la cuantificación de los efectos de consanguinidad.

La presencia e incremento de consanguinidad es una consecuencia inevitable en poblaciones manejadas cerradas genéticamente. La raza sintética Tropicarne cuya composición aproximada es: 63% Senepol, 23% Barzona, 9% Brahman y 5% Charolais, se ha mantenido cerrada desde su fundación, por lo que se requiere determinar los niveles y las tendencias de consanguinidad para planear los apareamientos que minimicen su presencia.

Los objetivos de este estudio fueron determinar los niveles y estimar las tendencias de consanguinidad del animal y de la madre, y cuantificar los efectos de consanguinidad del animal y de la madre, en características reproductivas y de crecimiento en el ganado bovino Tropicarne.

MATERIALES Y MÉTODOS

Manejo de los animales

La información analizada es parte de la base de datos de la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Tropicarne (AMCGT), y en específico de dos ranchos de los criadores. Estas explotaciones se localizan en los municipios de Ozuluama y Tampico Alto, Ver., a 22° 07' latitud norte y 98° 48' longitud oeste, con altitud de 20 m. El clima de la región es cálido subhúmedo (Aw₁) con lluvias en verano, temperatura promedio anual entre 24 y 28 °C y precipitación pluvial de 1000 a 1200 mm anuales, distribuidos de julio a octubre; con período de secas de marzo a junio y la temporada de nortes de noviembre a febrero (Maderey *et al.*, 2001).

La AMCGT lleva tres libros de grados de pureza (1/2, 3/4 y 7/8 de Tropicarne) y dos libros de pureza de raza (15/16 y 31/32 de Tropicarne), donde se registran los antecedentes genealógicos de los animales, la identificación del animal de acuerdo con el propietario, el número de registro del animal asignado por la AMCGT, las características de tipo de acuerdo con el patrón racial, y las características de crecimiento con base en el peso vivo a diferentes edades. En los libros de grados de pureza sólo se registran hembras, mientras que en los de pureza de raza se registran machos y hembras.

La alimentación de los animales fue con base en pastoreo (*Panicum maximun* y *Cynodon plectostachyus*), empadre durante todo el año, con tendencia a concentrarse en los meses de julio a agosto y de febrero a marzo, asignando de 25 a 30 vacas por semental. Los apareamientos se planearon evitando aquellos en que las crías potenciales tuvieran coeficientes de consanguinidad superiores a 6.25%. El destete se realizó alrededor de los ocho meses de edad; asignándose posteriormente al pastoreo hembras y machos por separado, con suministro de vitaminas y minerales a criterio del productor. La desparasitación externa se realizó según incidencia, y rara vez se desparasita internamente.

La selección de los animales para su inscripción en los libros de registro de la AMCGT se lleva a cabo al año de edad, con base en el patrón racial señalado en el Reglamento Técnico de la

Asociación (SAGAR, 1996). Las hembras seleccionadas se crían para reemplazo y los machos continúan evaluándose hasta los 18 meses para identificar prospectos a sementales.

Información analizada

Se analizaron el pedigrí de 5024 animales, 4045 registros individuales de peso al nacimiento (kg, PN), 3734 de peso al destete ajustado a los 8 meses (kg, PD), 2266 de peso al año (kg, PA), 1879 de peso a los 18 meses (kg, P18M), 3717 de ganancia diaria de peso predestete (g, GPRE), 1878 de ganancia diaria de peso del destete a los 18 meses de edad (g, GPOS), 1040 de edad al primer parto (días, EPP) y 2040 de intervalo entre partos (días, IEP), tomados de 1979 al 2001 en dos hatos de ganado Tropicarne.

Durante la edición de los datos se eliminaron aquellos fuera del rango de más menos tres desviaciones estándar de la media. La heterosis individual se calculó restando de uno la sumatoria de la proporción de cada raza fundadora elevada al cuadrado de los progenitores. La heterosis materna fue la heterosis individual de la vaca cuando becerra.

Análisis estadísticos

Los coeficientes de consanguinidad de los animales se obtuvieron con la subrutina MTDFNRM del programa MTDFREML (Boldman *et al.*, 1995); las medias y las tendencias de la consanguinidad se estimaron mediante los procedimientos MEANS y REG del paquete Statistical Analysis System (SAS, 2001); y la cuantificación de los efectos de consanguinidad se realizó mediante el procedimiento GLM de este mismo programa.

En la determinación del modelo estadístico para cada característica, se eliminaron las covariables y las interacciones dobles que fueron no significativas ($P > 0.05$). El modelo final para cuantificar los efectos de la consanguinidad para PN incluyó los efectos fijos de rancho, sexo de la cría, año y época de nacimiento, las interacciones de rancho por año de nacimiento, sexo de la cría por año de nacimiento, año por época de nacimiento, las covariables lineales de Fc y Fm, y edad de la madre al parto lineal y cuadrática. Los modelos para PD y GPRE incluyeron los efectos fijos descritos para PN y las interacciones de rancho por año de nacimiento y año por época de nacimiento, las covariables lineales de Fc y Fm, PN, y edad de la madre al parto lineal y cuadrática. Para PA, los efectos fijos principales descritos y las interacciones de rancho por año de nacimiento, sexo por año de nacimiento, y año por época de nacimiento, las covariables lineal

y cuadrática de Fc, y de edad de la madre al parto y lineal de heterosis materna y PD. Para P18M, los efectos fijos principales descritos y las interacciones de rancho por año de nacimiento, sexo por año de nacimiento, sexo por época de nacimiento, y año por época de nacimiento, las covariables lineal y cuadrática de Fc, y lineal de PD. Para GPOS, los efectos fijos principales descritos y las interacciones rancho por año de nacimiento, sexo por año de nacimiento, sexo por época de nacimiento y año por época de nacimiento, las covariables lineal y cuadrática de Fc y lineal de PD. Para EPP los efectos fijos de rancho, año y época de parto, la interacción de rancho por año de parto y las covariables lineales de Fc, y peso a los 18 meses. Para IEP los efectos fijos de rancho, año y época de parto, y las interacciones rancho por época de parto, y año por época de parto y las covariables lineales de Fc y edad al primer parto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las medias y desviaciones estándar para PN, PD, PA, P18M, GPRE y GPOS fueron 35 ± 2 , 211 ± 33 , 260 ± 43 , 326 ± 60 , 0.74 ± 0.13 y 0.36 ± 0.16 kg, respectivamente; y para EPP e IEP 1080 ± 182 y 455 ± 102 días, respectivamente. En condiciones tropicales, Segura *et al.* (1988), Segura y González (1992), Manzoni *et al.* (1998), y Rodríguez *et al.* (2001), en las razas Cebú comercial, Brahman, cruza Angus x Nelore y Santa Gertrudis, encontraron PN de 31.65, 28.75, 26.35, y 31.35 kg, respectivamente; los cuales son menores que los encontrados en este estudio. Bajo condiciones ambientales similares a las del presente estudio, Segura *et al.* (1988), Segura y González (1992), Manzoni *et al.* (1998), Magaña y Segura (1998) y Ferraz *et al.* (2000), en las razas Cebú comercial, Brahman, 5/8 Angus x 3/8 Nelore, Brahman y Santa Gertrudis, publicaron pesos al destete ajustados a los 8 meses de 175.1, 211.5, 164.5, 197.9, y 221.1 kg, respectivamente, los PD de Cebú comercial y de la cruce 5/8 Angus x 3/8 Nelore son inferiores a los de la raza Tropicarne en este estudio, solamente Santa Gertrudis presenta PD superior. Manzoni *et al.* (1998) y Ferraz *et al.* (2000) en cruza 5/8 Angus x 3/8 Nelore y Santa Gertrudis, publicaron PA de 160.9 ± 1.6 y 242.7 ± 1.9 kg; y P18M de 288.2 ± 0.9 y 387.8 ± 0.6 kg, respectivamente; los pesos encontrados en la raza Tropicarne son intermedios a éstos. Burrow (1998) en dos razas sintéticas en condiciones tropicales encontró P18M de 333 y 300 kg, los cuales son similares a los encontrados en el presente estudio. Para características reproductivas, Fioretti *et al.* (2002) en la raza Piedmontese estimaron la edad al primer parto de 961 ± 152 días, el cual es 119 días menores que el encontrado en el presente estudio. Apodaca (1996) en las razas

Criollo Centroamericano, Jersey x Criollo Centroamericano y Pardo Suizo x Criollo Centroamericano encontró IEP de 481 ± 9.8 ; 441 ± 19.9 y 449 ± 21.1 días, respectivamente, los cuales son similares a los encontrados en el presente estudio.

Consanguinidad

Las medias y desviaciones estándar para Fc y Fm correspondientes al periodo de 1976 a 2001 fueron 1.85 ± 3.65 y $1.28 \pm 3.13\%$, respectivamente, considerando todos los animales, y 3.49 ± 4.42 y $4.23 \pm 4.47\%$, considerando sólo los animales consanguíneos. De 5024 animales en el pedigrí, 2661 fueron consanguíneos. Los promedios para Fc y Fm encontrados en este trabajo son similares a los encontrados en otros trabajos realizados con diversos grupos genéticos en hatos o líneas cerradas (Ávila, 1993; Fioretti *et al.*, 2002), pero inferiores a otros (MacNeil *et al.*, 1989; Drumond *et al.*, 1990; Ruiz, 1992; Pariacote *et al.*, 1998). Los coeficientes de consanguinidad estimados por McCurley *et al.* (1984) en líneas no consanguíneas de las razas Hereford, Angus y Shorthorn son similares a los de este trabajo, pero en las líneas consanguíneas de estas mismas razas se observaron promedios del coeficiente de consanguinidad superiores.

El Cuadro 4.1 muestra que alrededor del 53% del total de esta población fueron consanguíneos. En otros estudios, Hudson y Van Vleck (1984) en ganado Ayrshire con una población 6 veces mayor a la del presente estudio y con posibilidad de obtener material ajeno a la explotación presentan 16.9% de animales consanguíneos y Burrow (1998), en dos razas sintéticas de cebú con europeo, manejadas genéticamente cerradas y con tamaño similar a la de este estudio, presenta un 57.4% de animales consanguíneos. La primera con una proporción 3 veces menor de animales consanguíneos que la del presente estudio y a la presentada por Burrow (1998), lo que muestra que en poblaciones manejadas genéticamente cerradas, el incremento de animales consanguíneos será mayor de las que pueden obtener, usando material genético de fuera de la explotación.

De los 2661 animales consanguíneos, menos del 1.5% tienen coeficientes de consanguinidad de 15% o mayores, resultados similares a los que obtuvieron Hudson y VanVleck (1984), quienes trabajando con ganado Ayrshire encontraron que de 5202 vacas consanguíneas menos del 2% presentaron coeficientes de consanguinidad igual o mayor del 15%. Similarmente, Burrow (1998) en dos razas sintéticas de cebú con europeo, encontró que de los 2592 animales consanguíneos menos del 1% tuvieron coeficientes de consanguinidad de 15% o mayores. Esto indica que con

sistemas de apareamiento bien planeados se puede mantener el coeficiente de consanguinidad de la población a niveles relativamente bajos.

Cuadro 4.1. Distribución de animales consanguíneos por niveles de consanguinidad

Niveles de consanguinidad (%)	Animales (No.)	% del total de animales
0.1 a 5	2,142	42.64
5.1 a 10	296	5.89
10.1 a 15	151	3.01
15.1 a 20	33	0.66
20.1 a 25	0	0.00
25.1 a 30	38	0.76
>30	1	0.02
Total	2,661	52.97

El coeficiente de consanguinidad promedio de todos los animales se incrementó, de 1% en 1982 a 4.39% en el 2001, y el coeficiente de consanguinidad de los animales consanguíneos se redujo de 19% en 1982 a 4.39% en el 2001 (Figura 4.1). Esta reducción se explica con la planeación de los apareamientos, evitándose aquellos con crías potenciales con coeficientes de consanguinidad superiores a 6.25%. Esta práctica resultó exitosa como puede observarse en la Figura 4.1, los coeficientes de consanguinidad de los animales consanguíneos se redujeron considerablemente de 1981 a 1995, año a partir del cual los coeficientes de consanguinidad de la población completa son similares a aquellos de animales consanguíneos.

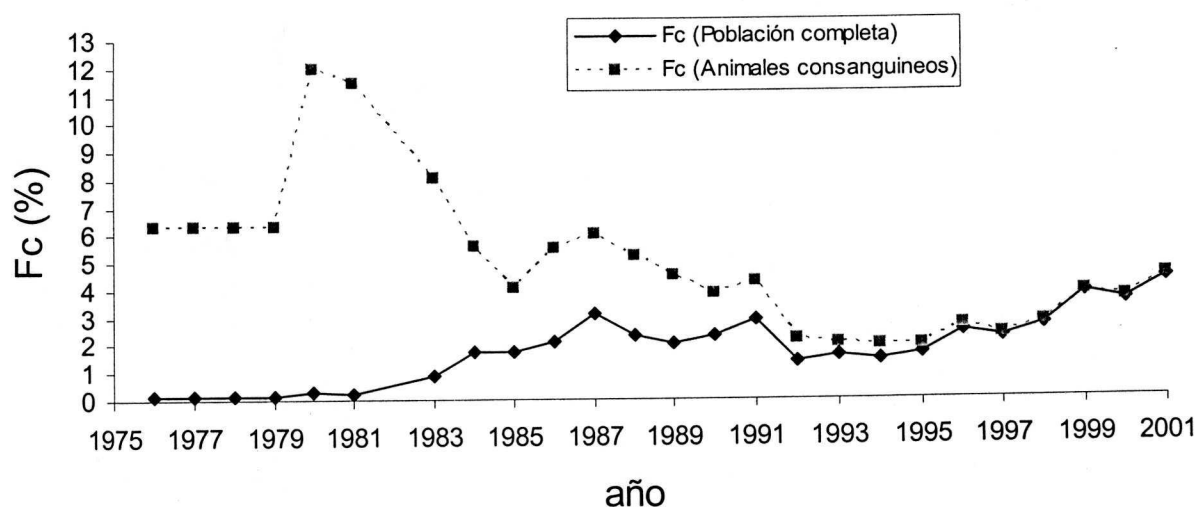


Figura 4.1. Comportamiento de los niveles de consanguinidad del animal (Fc) en el ganado Tropicarne

MacNeil *et al.* (1989) en una línea consanguínea de la raza Hereford, encontraron que el coeficiente de consanguinidad se incrementó rápidamente a finales de los años 30's y principios de los 40's, y de ese tiempo hasta 1987, la consanguinidad se incrementó en menor proporción, ya que evitaron los apareamientos entre animales con coeficientes de parentesco mayores al 25%. Estos autores mencionan que desde 1960 la consanguinidad se incrementó en 0.22% anual, casi el doble del incremento encontrado en este estudio.

En la Figura 4.2 puede observarse que menos del 5% de los animales nacidos antes de 1982 fueron consanguíneos, y de 1983 a 2001 el porcentaje de estos animales se incrementó de 10 a 99%. Sin embargo, aún con el porcentaje tan alto de animales consanguíneos en la población, el promedio de consanguinidad es relativamente bajo ($4.39 \pm 4.3\%$). Esto refuerza la recomendación de planear estrictamente los apareamientos, con la finalidad de mantener el promedio de consanguinidad lo más bajo posible.

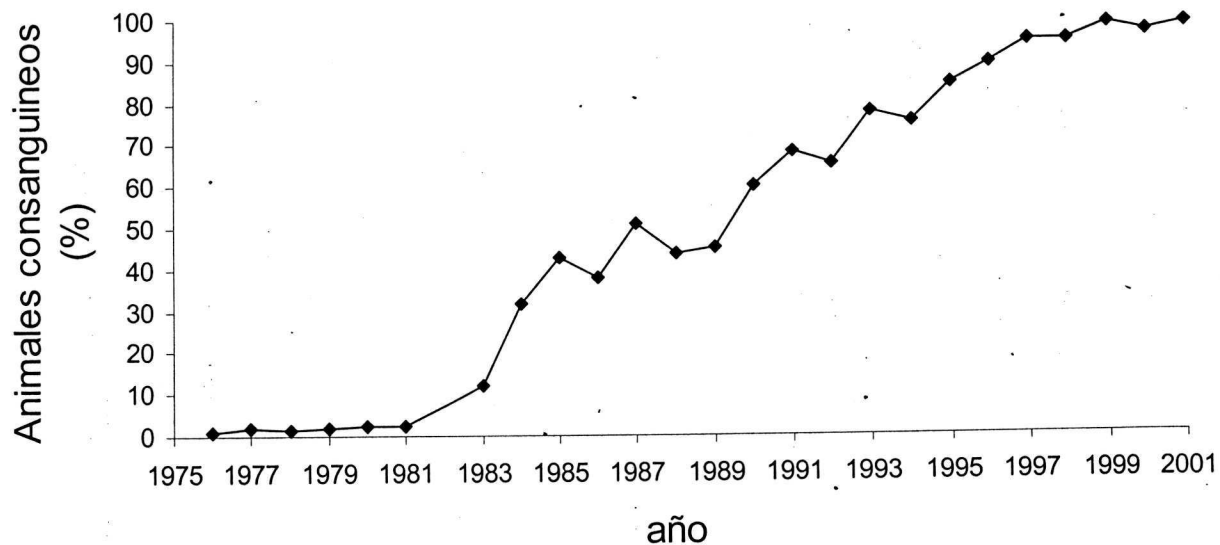


Figura 4.2. Porcentaje de animales consanguíneos por año de nacimiento en el ganado Tropicarne

El incremento anual en consanguinidad estimado en este estudio ($P < 0.01$) fue $0.12 \pm 0.01\%$, para Fc, y Fm. Estos aumentos anuales de consanguinidad en esta población de ganado Tropicarne son bajos, resultado de la planeación de los apareamientos por los criadores. Weigel (2001) indica que incrementos anuales de consanguinidad menores al 0.5% pueden ser aceptables en programas de mejoramiento genético animal. El incremento anual de consanguinidad en la raza Tropicarne

no es una limitante para desarrollar programas de selección adecuados, siempre y cuando se continúe con la planeación estricta de los apareamientos.

Efectos de consanguinidad

Los estimadores de los coeficientes de regresión parcial lineal y cuadrático de las características estudiadas sobre Fc y Fm, se muestran en el Cuadro 4.2.

Cuadro 4.2. Estimadores de los coeficientes de regresión para características de crecimiento y reproductivas ($b \pm EE$) sobre una unidad porcentual de consanguinidad del animal y de la madre

Característica ¹	Animal		Madre
	Lineal	Cuadrática	Lineal
Crecimiento			
PN, kg	0.00±0.01 N.S.		0.01±0.01 N.S.
PD, kg	-0.01±0.12 N.S.		0.07±0.14 N.S.
PA, kg	0.08±0.13 N.S.		0.30±0.15 *
P18M, kg	-0.63±0.37 N.S.	0.04±0.02 *	
GPRES, g	-0.03±0.50 N.S.		0.01±0.60 N.S.
GPOS, g	-2.00±1.00 N.S.	0.10±0.10 *	
Reproductivas			
IEP, días	1.48±0.68 *		
EPP, días	0.51±1.45 N.S.		

¹PN=Peso al nacimiento; PD=Peso al destete ajustado a los 8 meses; PA=Peso al año; P18M=Peso a los 18 meses; GPRES=Ganancia diaria de peso del nacimiento al destete; GPOS=Ganancia diaria de peso del destete a los 18 meses de edad; IEP=Intervalo entre partos; y EPP=Edad al primer parto.

N.S. No significativo.

* $P < 0.05$.

El peso al año se incrementó ($P < 0.05$) en 0.30 ± 0.15 kg por un cambio porcentual de Fm, este resultado es contrario al observado por Fioretti *et al.* (2002) de -0.21 kg por un cambio porcentual de Fm. McCurley *et al.* (1984) sugieren que Fm tiene un efecto positivo sobre esta característica, ya que al disminuirse la producción de leche de la madre durante la lactancia, la cría dependerá más de los recursos alimenticios del rancho y menos de la leche de su madre, y entonces el estrés del destete se presentará con menor intensidad por que su rumen estará en mejor condición para digerir los materiales que consumirá después de destetado.

Las demás características de crecimiento estudiadas no fueron afectadas ($P>0.27$) por consanguinidad de la madre. La consanguinidad del animal no tuvo efecto significativo ($P>0.51$) en PN, PD, PA y GPPE. Estos resultados son similares a los encontrados por Ávila (1993), y diferentes a lo observado por algunos autores (Pariacote *et al.*, 1998; Fioretti *et al.*, 2002) quienes encontraron efectos significativos de consanguinidad del animal o de la madre. Pariacote *et al.* (1998) en un hato de ganado Hereford estimó una reducción de 0.05 ± 0.02 kg, 0.56 ± 0.08 kg y 2.52 ± 0.39 g ($P<0.05$) en el PN, PD y GPPE, por cada incremento de una unidad porcentual de la consanguinidad de la madre; mientras que no encontró efecto significativo de la consanguinidad del animal en estas características. Fioretti *et al.* (2002) en un hato de ganado Piedmontese estimaron una reducción de 0.69 y 0.21 kg ($P<0.05$) en el PA, por cada incremento de una unidad porcentual de la consanguinidad del animal y de la madre, respectivamente. Lo anterior puede explicarse parcialmente por tratarse de una raza sintética, es decir, la heterosis retenida puede contrarrestar la depresión consanguínea (Pariacote *et al.*, 1998).

El efecto cuadrático de consanguinidad del animal fue significativo ($P<0.05$) para P18M y GPOS. Resultados similares fueron publicados por varios autores (Ávila, 1993; Pariacote *et al.*, 1998). Ahora bien, aunque el efecto lineal de Fc sobre P18M y GPOS no fueron significativos, el efecto cuadrático de Fc sí lo fue, lo que indica la existencia de un punto crítico de Fc para P18M y GPOS, el cual es 8.3 y 10%, respectivamente, siendo las ecuaciones de predicción $P18M=123.70 \text{ kg} - 0.65F_c + 0.04 F_c^2$ y $GPOS=0.39 \text{ kg} - 0.002F_c + 0.001F_c^2$. El efecto no significativo de Fc y Fm en las características de crecimiento, puede deberse a que los niveles de Fc y Fm existentes en el hato no han comenzado a ejercer efectos detrimentales sobre éstas.

Dentro de las características reproductivas, la EPP no fue afectada significativamente ($P>0.96$) por Fc, lo que coincide con lo observado por Ruiz (1992) en ganado Romosinuano y Ávila (1993) en ganado Indubrasil y contrario a lo encontrado por Fioretti *et al.* (2002) en un hato de ganado Piedmontese y Ruiz (1992) en un hato de ganado Criollo Lechero Centroamericano, quienes estimaron un incremento de 0.76 y 6.20 ± 2.90 días ($P<0.05$), respectivamente, en la EPP por cada unidad porcentual de incremento en consanguinidad del animal.

El IEP se incrementó ($P<0.05$) en 1.48 ± 0.68 días por un cambio porcentual de Fc, resultado similar al obtenido por Drumond *et al.* (1990) en ganado Nelore, quienes estimaron un incremento de 0.84 ± 0.57 días ($P<0.01$) en el IEP por un cambio porcentual de Fc; y contrario al

observado por Ruiz (1992) en ganado Romosinuano y Criollo Lechero Centroamericano y Ávila (1993) en ganado Indubrasil, que no encontraron efectos significativos de la consanguinidad del animal sobre el IEP.

Las características reproductivas cuentan con baja variabilidad genética aditiva, estando mayormente bajo influencia del manejo y de efectos genéticos no aditivos (Ruiz, 1993), por lo tanto son sensibles al efecto de consanguinidad (Falconer y Mackay, 1996). Aunque, aparentemente F_c aún no llega a niveles que afecten la EPP, el IEP sí es afectado. Dentro del proceso de selección de reemplazos que se tiene en el hato en estudio se considera a los animales con mayores pesos y edades más tempranas a la pubertad, por lo que pudiese existir un encubrimiento de selección sobre el efecto de la consanguinidad sobre la edad al primer parto,

En el presente estudio se encontró que F_m tiene un efecto positivo sobre el PA y que F_c incrementa el IEP. Aparentemente el proceso de selección dentro de los ranchos en el estudio, presenta un efecto mayor que el de la consanguinidad, ya que la vaca que es consanguínea está produciendo becerros más pesados al año, pero con eficiencia reproductiva menor, por lo que es muy probable que los recursos nutritivos que se ofrecen a estos animales están siendo canalizados hacia producción de leche y no a la iniciación de estro.

CONCLUSIONES

La consanguinidad del animal incrementa el intervalo entre partos de las vacas Tropicarne. Aunque el efecto lineal de F_c sobre P18M y GPOS no fueron significativos, el efecto cuadrático de F_c si lo fue, lo que indica la existencia de un punto crítico de la consanguinidad del animal para peso a los 18 meses y la ganancia diaria del destete a los 18 meses, el cual es 8.3 y 10%, respectivamente. La consanguinidad de la madre incrementa el peso al año de los becerros en ganado Tropicarne. Dados los efectos detrimentales de la consanguinidad en el intervalo entre partos, el peso a los 18 meses y la ganancia diaria del destete a lo 18 meses, la consanguinidad deberá mantenerse en los niveles más bajos posibles en esta población.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Tropicarne por facilitar la información de su base de datos genealógicos y productivos para el presente estudio, y al Consejo

Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado para la realización de los estudios de posgrado.

LITERATURA CITADA

- Apodaca S., C. A. . 1996. Evaluación de los principales sistemas de cruzamiento para producción de leche en el Trópico México. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 62 p.
- Ávila M., G. A. 1993. Niveles y efectos de consanguinidad sobre características de crecimiento y reproductivas en ganado Indubrasil y Pardo Suizo bajo un ambiente tropical. Tesis Profesional I.A.Z. UACH, Chapingo, México. 80 p.
- Boldman, K. G., L. A. Kriese, L. D. Van Vleck, and S. D. Kachman. 1995. Manual for Use of MTDFREML – A set of programs to obtain estimates of variance and covariances. USDA-ARS, p 120.
- Burrow, H. M. 1998. The effects of inbreeding on productive and adaptive traits and temperament of tropical beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 55:227-243.
- Domínguez V., J. 2002. Evaluación genética para características de crecimiento en ganado bovino Tropicarne. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 137 p.
- Drumond, A. M., J. C . C. Pereira, C. G. D. Fonseca y H. N. D. Oliveira. 1990. Efeito da endogamia sobre a idade ao primeiro parto e o intervalo entre partos em uma populacao de elite da raza Nelore. *Arq. Bras. Med. Vet. Zoot.* 42(2):103-119.
- Falconer, D. S., and T. F. C. Mackay. 1996. An introduction to Quantitative Genetics. 4th ed. Longman Pub. London. 464 p.
- Ferraz, J. B. S., J. P. Eler, and P. M. T. Ribeiro. 2000. Genetic study of Santa Gertrudis cattle in Brazil. *Livestock Research for Rural Development.* 12(2) (<http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd12/2/ferr122a.htm>). Consultada el 06/03/02.
- Fioretti, M., A. Rosati, C. Pieramati, and L. D. Van Vleck. 2002. Effect of including inbreeding coefficients for animal and dam on estimates of genetic parameters and prediction of breeding values for reproductive and growth traits of Piedmontese cattle. *Livest. Prod. Sci.* 74:137-145.
- Hudson, G. F. S., and L. D. Van Vleck. 1984. Inbreeding of artificially bred dairy cattle in the northeastern United States. *J. Dairy Sci.* 67:161-170.
- Maderey, L. E. R., N. F. Cruz y C. L. Godínez. 2001. Relación entre los fenómenos acuosos y los elementos térmicos del clima en México. *Agrociencia* 35(1):23-40.
- Magaña, J. C., y J. C. Segura. 1998. Factores ambientales y genéticos que afectan el crecimiento predestete e intervalo entre partos del ganado *Bos indicus* en el sureste de México. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 32:337-343.
- Manzoni, O. N., E. Salomoni, L. J. J. Brazalle, M. J. C. Ferrugem, and D. L. O. Antunes. 1998. Genetic and environmental effects on growth of 3/8 Nelore x 5/8 Aberdeen Angus beef

- cattle derived from different crossbreeding schemes. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 6(2):173-188.
- McCurley, J. R., W. T. Butts, Jr., and K. P. Bovard. 1984. Growth patterns of Angus, Hereford and Shorthorn cattle. I. Comparison of inbred and noninbred lines, changes in patterns over time and effects of level of inbreeding and reproductive performance. *J. Anim. Sci.* 59:1194-1204.
- McNeil, M. D., D. D. Dearborn, L. V. Cundiff, C. A. Dinkel, and K. E. Gregory. 1989. Effects of inbreeding and heterosis in Hereford females on fertility, calf survival, and preweaning growth. *J. Anim. Sci.* 67:895-901.
- Pariacote, F., L. D. Van Vleck, and M. D. MacNeil. 1998. Effects of inbreeding and heterozygosity on preweaning traits in a closed population of Herefords under selection. *J. Anim. Sci.* 76:1303-1310.
- Rodríguez M., D. Guerra, T. Planas, y F. Ramos. 2001. Factores que afectan el crecimiento predestete en ganado Santa Gertrudis. Memoria de la XVII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. La Habana, Cuba. 1820-1822.
- Ruiz F., A. 1992. Determinación de niveles críticos y efectos de consanguinidad sobre características productivas, reproductivas y de crecimiento en ganado Criollo Lechero Centroamericano y Romosinuano bajo condiciones de trópico húmedo. Tesis Mag. Sci. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 172 p.
- SAGAR. 1996. Reglamento Técnico de la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Tropicarne. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. México, D. F.
- SAS. 2001. SAS User's Guide: Statistics. (Release 8.2). SAS Inst. Inc., Cary, N.C.
- Segura C., J. C., M. P. A. Velásquez, y P. G. Medina. 1988. Comportamiento hasta el destete de dos hatos Cebú comercial en el oriente de Yucatán. *Téc. Pec. Méx.* 26(1):16-23.
- Segura C., J. y G. G. González. 1992. Influencia de algunas fuentes de variación sobre el intervalo entre partos y pesos hasta el año de edad en un hato Brahman del noreste de México. *Agrociencia serie Ciencia Animal* 2(3):243-252.
- Weigel, K. A. 2001. Controlling inbreeding in modern breeding programs. *J. Dairy Sci.* 84 (E. Suppl.):E177-E184.

IMPRESA ANHER
IMPRESIONES & ENCUADERNACIONES
FRAY PEDRO DE GANTE No. 118-D
TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

