

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

**EVALUACIÓN GENÉTICA PARA CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO
EN GANADO BOVINO TROPICARNE**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL



DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

JOEL DOMÍNGUEZ VIVEROS



BIBLIOTECA CENTRAL U.A. CH

MAYO DEL 2002

Chapingo, Estado de México

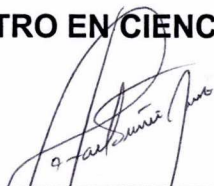
Bib 97381

**EVALUACIÓN GENÉTICA PARA CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO EN
GANADO BOVINO TROPICARNE**

Tesis realizada por Joel Domínguez Viveros, 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. RAFAEL NÚÑEZ DOMÍNGUEZ

ASESOR:



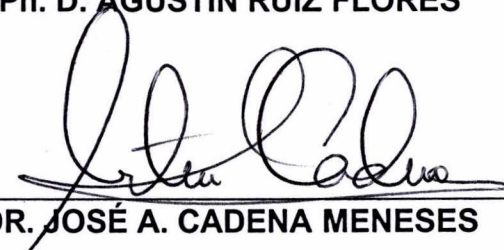
Ph. D. RODOLFO RAMÍREZ VALVERDE

ASESOR:



Ph. D. AGUSTÍN RUÍZ FLORES

ASESOR:



DR. JOSÉ A. CADENA MENESES

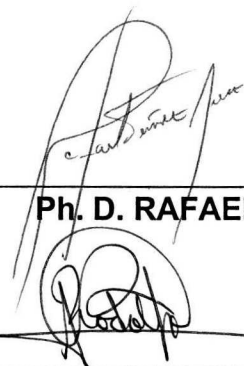
BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH

A. 39251

**EVALUACIÓN GENÉTICA PARA CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO EN
GANADO BOVINO TROPICARNE**

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de Joel Domínguez Viveros, autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Producción Animal, estuvo constituido por:

PRESIDENTE:



Ph. D. RAFAEL NÚÑEZ DOMÍNGUEZ

ASESOR:



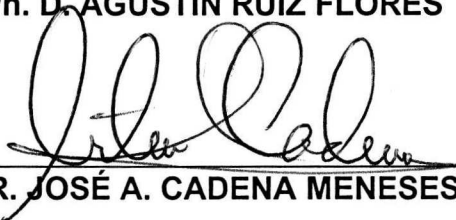
Ph. D. RODOLFO RAMÍREZ VALVERDE

ASESOR:



Ph. D. AGUSTÍN RUÍZ FLORES

ASESOR:



DR. JOSÉ A. CADENA MENESES

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y en especial al Posgrado en Producción Animal del Departamento de Zootecnia por la oportunidad brindada en mi superación profesional.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ph. D. Rafael Núñez Domínguez por sus valiosas enseñanzas, amistad y consejos que siempre los tendré presente. Sinceramente, gracias por todo su apoyo Dr. Núñez.

A los Ph. D. Rodolfo Ramírez Valverde y Agustín Ruiz Flores por sus valiosas enseñanzas, amistad y consejos proporcionados. Gracias por todo su apoyo.

Al Ph. D. Maximino Huerta Bravo por su amistad y por compartir sus conocimientos y experiencias.

Al Dr. José A. Cadena Meneses por sus sugerencias en el desarrollo del presente trabajo.

Al Consejo Nacional 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 mis compañeros del área de genética (J. Gabriel, M^a del Refugio y Martín) por su amistad y apoyo brindado.

DEDICATORIAS

A mis padres Joel Domínguez Viveros y Maria Esther Viveros Viveros por haberme inculcado el espíritu de lucha y superación, ya que este trabajo lo desarrolle pensando siempre en ustedes.

A mi hermana Maria Esther Domínguez Viveros, por su cariño y apoyo en todo momento, gracias M^a Esther.

A Ramona Pérez Leal por su amor, permanente motivación y apoyo en todo momento y circunstancia, gracias M^a Mony.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre:	Joel Domínguez Viveros
Fecha de nacimiento:	9 de julio de 1973
Lugar de nacimiento:	J. Rodríguez Clara, Ver.
Cartilla de servicio militar:	B 9390273
CURP:	DOVJ730709HVZMVL02
Profesión:	Ingeniero en Agronomía
Cedula profesional:	3263281

Desarrollo académico

1985 – 1988	Escuela Secundaria Técnica Agropecuaria No. 24. J. Rodríguez Clara, Ver.
1988 – 1991	Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 85 J. Rodríguez Clara, Ver.
1995 – 2000	Instituto Tecnológico Agropecuario No. 18 Úrsulo Galván, Ver.
2000 – 2002	Universidad Autónoma Chapingo Posgrado en Producción Animal Chapingo, Edo. de México.

CONTENIDO

I	Introducción.....	1
II	Objetivos.....	5
III	Revisión de literatura.....	6
IV	Influencias ambientales e índice de constancia para características de crecimiento en ganado bovino Tropicarne.....	62
V	Comparación de modelos para la evaluación genética de características de crecimiento en bovinos Tropicarne.....	96
VI	Conclusiones generales.....	136

LISTA DE CUADROS

Cuadro 3.1.	Promedios de peso al nacimiento (kg) por sexo en bovinos para carne producidos en condiciones tropicales.....	10
Cuadro 3.2.	Promedios de peso al destete (kg) en bovinos para carne producidos en condiciones tropicales.....	15
Cuadro 3.3.	Promedios de pesos (kg) a diferentes edades posdestete en bovinos para carne producidos en condiciones tropicales.....	20
Cuadro 3.4.	Estimadores de repetibilidad (r_e) para características de crecimiento en bovinos para carne producidos en condiciones tropicales.....	27
Cuadro 3.5.	Estimadores de heredabilidad de efectos genéticos directos (h^2_g) y maternos (h^2_m), y correlaciones entre efectos genéticos directos y maternos (r_{gm}), para peso al nacimiento (PN) y al destete (PD) utilizadas en los programas de evaluaciones genéticas de bovinos para carne en los Estados Unidos de América.....	30
Cuadro 3.6.	Estimadores de heredabilidad de efectos genéticos directos (h^2_g), y maternos (h^2_m), proporción de la varianza fenotípica atribuida a efectos maternos de ambiente permanente (c^2), y correlación entre efectos genéticos directos y maternos (r_{gm}) para peso al destete de diferentes razas de bovinos para carne.....	32
Cuadro 3.7.	Promedios de estimaciones de heredabilidad de efectos genéticos directos (h^2_g) y maternos (h^2_m), correlaciones entre efectos genéticos directos y maternos (r_{gm}) y heredabilidad total (h^2_t), en estudios de bovinos para carne en condiciones tropicales, ponderados por el número de observaciones.....	36

Cuadro 3.8.	Estimadores de heredabilidad de efectos genéticos directos (h^2_g) y maternos (h^2_m), correlación entre efectos genéticos directos y maternos (r_{gm}), y proporción de la varianza fenotípica atribuida a efectos maternos de ambiente permanente (c^2) para características de crecimiento en bovinos para carne.....	38
Cuadro 3.9.	Estimadores de parámetros genéticos para características de crecimiento en estudios sobre comparaciones de modelos.....	43
Cuadro 3.10.	Intervalo de estimadores de parámetros genéticos para características de crecimiento en estudios de comparación de modelos encontrados en la literatura.....	47
Cuadro 3.11.	Estimadores de tendencias genéticas para características de crecimiento en bovinos para carne.....	49
Cuadro 3.12.	Estimaciones de tendencias genéticas (g/año) en las diferencias esperadas en la progenie para peso al nacimiento (PN), al destete con efectos genéticos directos (PD) y maternos (PDM), y al año (PA) de edad.....	53
Cuadro 4.1.	Nivel de significancia (Probabilidad) de los efectos fijos en los análisis de varianza para pesos al nacimiento (PN), al destete (PD), al año (PA) y a los 18 meses (P18M), y para ganancias de peso del destete al año (GDA) y del destete a los 18 meses (GD18M) en ganado Tropicarne.....	91
Cuadro 4.2.	Medias de mínimos cuadrados y errores estándar (kg) para pesos al nacimiento (PN), al año (PA) y a los 18 meses (P18M), y para ganancias de peso del destete al año (GDA) y del destete a los 18 meses (GD18M), de acuerdo con la época de nacimiento y el sexo en ganado Tropicarne.....	91
Cuadro 4.3.	Estimadores de componentes de varianza y del índice de constancia (r_e) para las características analizadas.....	92

Cuadro 5.1.	Número de observaciones (n), media (μ) y desviación estándar (σ) de las características de crecimiento estudiadas.....	101
Cuadro 5.2.	Estructura de los componentes de (co)varianza y parámetros estimados con cada modelo.....	104
Cuadro 5.3.	Estimadores de componentes de (co)varianza (kg^2) y de parámetros, de acuerdo con los modelos estudiados para las características de peso al nacimiento, al destete, al año y a los 18 meses, y ganancia total del destete al año y del destete a los 18 meses de edad.....	107
Cuadro 5.4.	Valores de máxima verosimilitud ($-2 \log L$) en los modelos estudiados para la características peso al nacimiento (PN), al destete (PD), al año (PA) y a los 18 meses de edad (P18M), y ganancia de peso total del destete al año (GDA) y del destete a los 18 meses de edad (GD18M).....	111
Cuadro 5.5.	Prueba de proporciones de verosimilitud (Probabilidad $\{-2[\log L_i - \log L_i'] > \chi^2_{(1)}\}$) de los contrastes entre los modelos estudiados para las características de peso al nacimiento (PN), al destete (PD), al año (PA) y a los 18 meses (P18M), y ganancia total del destete al año (GDA) y del destete a los 18 meses de edad (GD18M).....	111
Cuadro 5.6.	Intervalo de los valores genéticos predichos (kg) de acuerdo con los modelos seleccionados para las características de crecimiento.....	124
Cuadro 5.7.	Estimaciones de las tendencias genéticas calculadas a través de la regresión de los valores genéticos predichos, sobre el año de nacimiento (g/año).....	125
Cuadro 5.8.	Estimación de correlaciones entre los valores genéticos de los sementales predichos de acuerdo con el modelo seleccionado para cada característica y el modelo completo, y medias (kg) de los valores genéticos predichos del 20% de los mejores sementales.....	128

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1.	Interacción entre sexo y época de nacimiento para peso al destete en ganado Tropicarne.....	93
Figura 4.2.	Interacción entre rancho y época de nacimiento para peso al destete en ganado Tropicarne.....	93
Figura 4.3.	Comportamiento del peso al nacimiento (a), al destete (b) y al año de edad (c), y de la ganancia de peso total del destete a los 18 meses (d) con respecto a la covariable edad de la vaca al parto en ganado Tropicarne.....	94
Figura 4.4.	Comportamiento del peso al nacimiento (a) y al destete (b) con respecto a la covariable proporción de genes Tropicarne.....	95

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción animal en el trópico a nivel mundial sostienen la mayor parte de la población humana (66%), tienen la mayor superficie de pastos (66%) y cuentan con alrededor del 53% de la población bovina mundial (Plasse, 1978; Osorio, 1998).

En México los sistemas de producción bovina tropical se encuentran a lo largo de las costas del Golfo de México y Océano Pacífico, representando alrededor del 25% de la superficie nacional, aportando alrededor del 16% de la producción de leche y el 35% de la producción de carne a nivel nacional (SAGAR, 1998; SAGAR, 2000). Los climas varían del trópico húmedo al seco, con temperaturas mínimas menores de 15 °C en el invierno y máximas superiores a 40 °C en la primavera y el verano; el promedio de precipitación anual varía de 700 a más 3000 mm, con fuerte estacionalidad, generando un período seco de 2 a 6 meses. El ambiente tropical, con sus altas temperaturas y humedad, ofrece condiciones favorables para un desarrollo vegetal exuberante, pero por la estacionalidad de la precipitación pluvial, la producción forrajera tiende a ser estacional; las bajas temperaturas y reducción del fotoperíodo en el invierno, hacen más marcada esa estacionalidad (Osorio, 1998).

Las poblaciones bovinas en las regiones tropicales son principalmente razas Cebuinas o cruza con éstas, las cuales poseen características específicas para resistir las altas temperaturas y la incidencia de ecto y endoparásitos, y adaptarse a las condiciones de manejo y alimentación (Stonaker, 1971; Plasse,

1978; Hoogesteijn *et al.*, 1985). Por otro lado, los índices productivos de los Cebuinos en el trópico, en general, son menores que los mostrados por bovinos europeos (*Bos taurus*) en las zonas templadas, ya sea por sus sistemas de producción, donde son criados extensivamente, o por falta de programas de mejoramiento (Zerlotti *et al.*, 1995).

La utilización de sistemas de cruzamientos entre razas por productores comerciales, es una opción viable para incrementar la producción en las regiones tropicales, aprovechando la variabilidad entre razas, heterosis y complementariedad, con diferentes grados de efectividad (Cundiff, 2000; Sanders, 2000). Sin embargo, la mayoría de los hatos existentes en la regiones tropicales carecen de los requerimientos mínimos que se necesitan para el establecimiento de los sistemas de cruzamiento convencionales (rotacionales y terminales) como son tamaño mínimo del hato, división de potreros para el empadre, mantenimiento de sementales y vientres de dos o más razas, entre otros; por consiguiente las razas sintéticas producto de la cruce de dos o más razas, son una alternativa a los sistemas de cruzamiento convencionales, además de que tienen requerimientos de manejo similares a los de una raza pura, utilizan un porcentaje considerable de heterosis y combinan las características deseables de las razas fundadoras (Cundiff, 2000).

Los criterios a considerar en el desarrollo de una raza sintética deben de estar en función de las condiciones ambientales y sistemas de producción donde la futura raza será utilizada; asimismo, se esperaría que la respuesta a la selección fuera mayor en una raza sintética debido a una mayor variabilidad genética, producto de las razas involucradas en su formación (Gregory y Cundiff, 1980). Un grupo de ganaderos de la región tropical de México, en los límites entre Tamaulipas y Veracruz, realizaron una serie de cruzamientos involucrando varias razas bovinas, basando sus decisiones en el comportamiento productivo y reproductivo de los animales y en su capacidad para adaptarse a los sistemas de producción en regiones tropicales, y lograron desarrollar la primer raza de ganado bovino mexicana, Tropicarne, especializada en producción de carne en condiciones tropicales, con una composición racial aproximada de 63% Senepol, 23% Barzona, 9% Brahman y 5% Charolais.

Para la identificación de criterios objetivos de selección en la raza Tropicarne, como son las estimaciones de valores genéticos, se requiere de la caracterización del ganado de acuerdo con las influencias no genéticas, y así incluir en la metodología su corrección. Asimismo, para que el mejoramiento genético de esta nueva raza se lleve a cabo con mayor efectividad se requiere definir criterios de selección que maximicen la probabilidad de que los machos y hembras seleccionados como reemplazos posean genes de la mejor calidad de acuerdo con las características de interés; uno de estos criterios es la predicción de los valores genéticos de los animales, involucrando la información

de todos los parientes a través de la matriz de relaciones genéticas aditivas entre ellos, mediante el modelo animal (Van Vleck y Núñez-Domínguez, 1992).

Por lo antes expuesto y debido a la importancia que presenta el desarrollo de esquemas de selección basados en la predicción de los valores genéticos, se determinaron los siguientes objetivos:

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general: Realizar una evaluación genética para características de crecimiento de los bovinos Tropicarne.

2.2. Objetivos particulares:

- Identificar los principales efectos no genéticos que inciden sobre la variación de las características de crecimiento en bovinos Tropicarne.
- Estimar componentes de (co)varianza y determinar el modelo que mejor se ajuste a describir la variación de las características analizadas.
- Predecir el valor genético de los animales de acuerdo con el modelo seleccionado para cada característica y estimar las tendencias de los valores genéticos a través de los años.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Factores no genéticos que inciden sobre la variación del crecimiento de los bovinos para carne

La variación de una característica cuantitativa está influida por efectos genéticos y no genéticos. Los efectos genéticos resultan de la información contenida en los genes y pueden ser de dos formas: aditivos y no aditivos. Los factores no genéticos incluyen los efectos dados por el ambiente en el cual se desenvuelve el animal y los inherentes (o internos) del animal, como el sexo, la edad, estado fisiológico, etc. En los análisis estadísticos se incluyen también como factores no genéticos a las interacciones entre factores genéticos y ambientales (Plasse, 1978).

Los factores no genéticos que determinan la variación del crecimiento y producción en las distintas fases de la vida del animal difieren en magnitud relativa según la zona ecológica, el sistema de producción y la constitución genética de la población que se estudia (Plasse, 1978; Rojas *et al.*, 1987). Para elaborar un programa óptimo de manejo en un hato, es necesario evaluar la magnitud y dirección de los efectos que ejercen diferentes factores sobre la variación de los pesos corporales de los animales (Plasse y Verde, 1980; Segura y González, 1992). Asimismo, en el desarrollo de las evaluaciones genéticas es de suma importancia conocer la magnitud de los efectos ambientales, con el objetivo de incluir su corrección en la metodología de evaluación (Rodríguez *et al.*, 2001).

Como principales factores no genéticos que inciden sobre la variación de las características de crecimiento de animales criados bajo condiciones tropicales, se citan la época y el año de nacimiento, hato, edad o número de parto de la vaca, y sexo de la cría (Torner *et al.*, 1984; Segura, 1988; Segura y González, 1992).

Parte de la productividad del ganado bovino se puede medir por sus tasas de crecimiento al nacer, al destete, al año y al primer parto en el caso de las hembras (Martínez y Castillo, 2000); asimismo, los datos de pesos a edades específicas permiten realizar las evaluaciones pertinentes en las unidades de producción (Plasse, 1982).

3.1.1. Peso al nacimiento

El peso al nacimiento es el resultado del crecimiento durante la gestación, y su variación está determinada por los factores que influyeron sobre la madre en ese período. Describiendo el crecimiento fetal, Hafez (1996) mencionó que la rapidez de crecimiento, o sea el aumento porcentual en peso y dimensiones por unidad de tiempo (crecimiento relativo), es mayor en las fases tempranas y declina a medida que avanza la gestación, mientras que el incremento absoluto por unidad de tiempo (crecimiento absoluto) es exponencial, hasta alcanzar un máximo al final de la preñez; en bovinos, más de la mitad del aumento del peso fetal ocurre durante los últimos dos meses de la gestación.

Desde el punto de vista productivo, un peso al nacimiento intermedio es más adecuado, ya que pesos por arriba del promedio se asocian con distocia y otros problemas posparto (Segura, 1988; Hoogesteijn *et al.*, 1985), los pesos muy bajos se asocian con incrementos en la mortalidad predestete de los becerros (Hoogesteijn *et al.*, 1985).

Sexo de la cría. Está determinado principalmente por el ambiente fisiológico – endocrino durante la gestación. El período de gestación para los machos dura alrededor de uno o dos días más que el de las hembras (Hafez, 1996). Las diferencias entre sexos reportadas en la literatura pueden variar de 2.3 a 8.9% a favor de los machos. En el Cuadro 3.1 se muestran promedios de peso al nacimiento reportados en la literatura de bovinos criados en condiciones tropicales.

Algunos autores han observado un efecto significativo ($P < 0.05$) del sexo de la cría sobre el peso al nacimiento (Reynoso *et al.*, 1987; Rojas *et al.*, 1987; Segura, 1988; Segura *et al.*, 1988; Segura y González, 1992; Manzoni *et al.*, 1998; Martínez y Castillo, 2000; Rodríguez *et al.*, 2001). Por otra parte, Lozano *et al.* (1988) no encontraron efecto significativo ($P > 0.05$) del sexo sobre peso al nacimiento evaluando el crecimiento en ganado Guzerat; y Ávila (1984) al evaluar ocho genotipos (tres razas puras y cinco cruzamientos) en clima tropical húmedo y alimentación con base en pastoreo, encontró que el efecto de sexo sólo fue significativo ($P < 0.05$) para dos razas puras y dos cruzamientos (Cuadro 3.1)

Cuadro 3.1. Promedios de peso al nacimiento (kg) por sexo en bovinos para carne producidos en condiciones tropicales

Genotipo	Machos	Hembras	Autor (es)
Indobrasil (I)	32.5 ^a	30.2 ^b	Ávila, 1984
Gyr (G)	28.5 ^a	26.3 ^b	
Pardo Suizo (PS)	36.2 ^a	36.0 ^a	
PS x I	31.6	-----	
Holstein x I	34.2 ^a	35.7 ^b	
Limousin x I	34.2 ^a	37.2 ^b	
Simmental x I	34.3 ^a	34.3 ^a	
Simmental x G	34.3 ^a	33.3 ^a	
Cruzados	31.6 ^a	30.6 ^b	Reynoso <i>et al.</i> , 1987
Guzerat	30.5 ^a	30.3 ^a	Lozano <i>et al.</i> , 1988
Gyr	29.4 ^a	28.1 ^b	Segura, 1988
Cebú comercial	32.2 ^a	31.1 ^b	Segura <i>et al.</i> , 1988
Brahman	29.3 ^a	28.2 ^b	Segura y González, 1992
Cruzas Angus x Nelore	26.9 ^a	25.8 ^b	Manzoni <i>et al.</i> , 1998
Criollo Lechero	30.5 ^a	28.0 ^b	Martínez y Castillo, 2000
Santa Gertrudis	31.7 ^a	31.0 ^b	Rodríguez <i>et al.</i> , 2001

^{a, b} Diferentes literales entre columnas indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Año de nacimiento. Diversos autores mencionan que el efecto de año se atribuye a las fluctuaciones de los componentes del clima, precipitación, temperatura y los vientos dominantes, así como ciertos cambios en los programas de manejo y alimentación, que afectan a la vaca durante el período de gestación y repercuten sobre la variación del peso al nacimiento (Plasse y Verde, 1980; Segura y González, 1992). Por otra parte, Lozano *et al.* (1988) evaluando el crecimiento del ganado Guzerat, no observaron efecto significativo ($P > 0.05$) del año de nacimiento sobre el peso al nacimiento en un sistema de confinamiento, atribuyendo este resultado a que en sistemas de confinamiento las prácticas de alimentación y manejo son generalmente uniformes, por lo que el efecto de año deja de ser importante.

Época de nacimiento. Plasse (1978) mencionó que la principal influencia de la temporada de nacimiento sobre el becerro y su madre en el trópico, es de orden nutricional y sanitario, que incide sobre la vaca durante el período de gestación. La definición de la época de nacimiento en los análisis de factores ambientales está en función de las características de la región. Algunos autores en los análisis estadísticos consideran el mes de nacimiento (Plasse y Verde, 1980; Rodríguez *et al.*, 2001) o grupo de meses definidos por las épocas de empadre (Torner *et al.*, 1984; Reynoso *et al.*, 1987). En condiciones de clima tropical subhúmedo, la definición de las épocas está de acuerdo con la distribución de las lluvias: cuando la distribución de las lluvias es de mayo a octubre (Segura, 1988), consideran dos épocas (seca y lluvias); y cuando la mayor precipitación es en verano (agosto a octubre) y tiene la influencia de la temporada de nortes, consideran tres (Segura *et al.*, 1988; Martínez y Castillo, 2000) o cuatro épocas al año (Magaña y Segura, 1998).

Edad de la vaca al parto. El efecto de la edad de la vaca sobre el peso al nacimiento es curvilíneo, los mayores pesos se observan en vacas con edades intermedias (de 5 a 6 años de edad) y los menores pesos se observan en vacas de edad avanzada o muy jóvenes (Hoogesteijn *et al.*, 1985; Manzoni *et al.*, 1998; Arango *et al.*, 1999; Rodríguez *et al.*, 2001). Lo anterior lo atribuyen a que el crecimiento prenatal en vacas jóvenes y de poco peso está determinado por el tamaño de la cavidad uterina, tamaño de la placenta y disponibilidad de nutrientes; mientras que en las vacas de edad avanzada el crecimiento prenatal

está influido por el desgaste fisiológico general que recae en la disponibilidad de nutrientes para el becerro en formación.

Diversos autores consideran el efecto de edad de la vaca al parto sobre el peso al nacimiento como número de parto (Segura, 1988; Segura y González, 1992; Martínez y Castillo, 2000), observando un comportamiento similar al de edad de la vaca.

El efecto de edad de la vaca sobre el peso al nacimiento puede ser diferente entre sexos, al respecto Castro (1995) observó en becerros Indobrasil, un efecto cuadrático de edad de la vaca al parto sobre peso al nacimiento, reportando los mayores pesos en vacas de cinco a nueve años y los pesos más bajos en vacas de tres a cuatro y de 10 a 11 años; mientras que en hembras este efecto no fue observado. Esto lo atribuye a que las hembras demandan menos capacidad uterina durante la gestación, por lo que al avanzar la edad de la vaca y mejorarse el ambiente uterino, la respuesta es mayor en machos.

Interacciones entre efectos. La interacción año con época de nacimiento ha sido reportada por diversos autores (Hoogesteijn *et al.*, 1985; Reynoso *et al.*, 1987; Segura *et al.*, 1988), indicando que las diferencias en peso al nacimiento entre épocas se modifican a través de los años. Navarro (1994) en un estudio sobre la predicción de valores genéticos en ganado Pardo Suizo, incluyó en el modelo el efecto fijo de la interacción año – época de nacimiento con el propósito de corregir los registros (desviaciones con respecto a la media del

grupo contemporáneo) por estas fuentes de sesgo y obtener con mayor exactitud las predicciones de los valores genéticos.

Reynoso *et al.* (1987) reportaron los efectos altamente significativos ($P < 0.01$) de las interacciones: año con estación de parto, genotipo con año de nacimiento, y edad de la vaca con año y con estación de nacimiento. Por otro lado, Rojas *et al.* (1987) reportaron efectos significativos ($P < 0.05$) de las interacciones de época de nacimiento con genotipo y con edad de la vaca. La interacción entre época de nacimiento y genotipo la atribuyen a una interacción genotipo con ambiente. Manzoni *et al.* (1998) reportaron el efecto altamente significativo ($P < 0.01$) de la interacción entre sexo y época de nacimiento en ganado Angus x Nelore, indicando que las diferencias entre sexos, siempre a favor de los machos, se modifican a través de las épocas de nacimiento.

3.1.2. Peso al destete

En el trópico el crecimiento predestete tiene especial importancia debido a que:

- a) en esta fase el becerro tiene la tasa de crecimiento más alta de toda su vida, alcanzando alrededor del 25 al 35% de su peso final, mientras que posteriormente necesita alrededor de dos a cuatro años para alcanzar el peso adecuado para sacrificio (Plasse, 1978; Plasse, 1982; Martínez *et al.*, 1998);
- b) constituye un indicador de la eficiencia económica de las explotaciones, ya que en el sistema vaca—becerro involucra la venta de animales al destete (Hoogesteijn *et al.*, 1985);
- y c) es una medida del potencial de crecimiento del becerro y de las cualidades de la madre (Meyer, 1992; Martínez *et al.*, 1998).

El peso al destete es una de las primeras mediciones que se pueden hacer del potencial productivo de los bovinos para carne. En el Cuadro 3.2 se presentan los promedios de peso al destete de algunos genotipos criados en condiciones tropicales, con alimentación basada en pastoreo. Las diferencias que se observan en el peso al destete pueden atribuirse a las diferencias entre razas, edades al destete, niveles de heterosis en genotipos cruzados, así como a diferencias en recursos forrajeros y en prácticas de manejo que comúnmente se presentan en el trópico.

Los reportes encontrados en la literatura de pesos al destete presentan edades de ajuste que van de los 205 a los 314 días, y con el objetivo de realizar una mejor comparación se reajustaron a una edad de 240 días (Cuadro 3.2). Con los pesos al destete reajustados a 240 días se observa un amplio rango de valores que van desde los 100.9 kg observados en el ganado Criollo hasta los 245 kg observados en el ganado cruzado Holstein x Indobrasil. Comparando los reportes por genotipo, en ganado Cebú comercial y Brahman los pesos al destete varían de 152.3 a 196.6 kg y de 196.7 a 211.5 kg, respectivamente; asimismo, en ganado Gyr e Indobrasil los pesos fluctúan de 179.5 a 207.8 kg y de 192.7 a 205.0 kg, respectivamente. Las diferencias antes mencionadas pueden atribuirse a la variabilidad en las prácticas de manejo y alimentación desarrolladas por los productores.

Cuadro 3.2. Promedios de peso al destete (kg) en bovinos para carne producidos en condiciones tropicales

Genotipo	PD ^a	EAJ ^a	PD240 ^a	Autor (es)
Indobrasil (I)	164.6	205 días	192.7	Ávila, 1984
Gyr (G)	153.3		179.5	
Pardo Suizo (PS)	157.4		184.3	
PS x I	202.4		236.9	
Holstein x I	209.3		245.0	
Limousin x I	201.2		235.6	
Simmental x I	191.7		224.4	
Simmental x G	188.8		221.0	
Brahman	168.0	205 días	196.7	Torner <i>et al.</i> , 1984
Cebú	148.2	205 días	173.5	Hoogesteijn <i>et al.</i> , 1985
Cebú	171.3 ± 1.3	270 días	152.3	Reynoso <i>et al.</i> , 1987
Chianina x Cebú	171.0 ± 4.3		152.0	
Simmental x Cebú	197.3 ± 4.6		175.4	
Limousine x Cebú	174.1 ± 5.7		154.8	
Pardo Suizo x Cebú	180.5 ± 3.2		160.4	
Charolais x Cebú	193.7 ± 3.8		172.2	
Brahman	179.1	205 días	209.7	Rojas <i>et al.</i> , 1987
Indobrasil	165.7		193.9	
Gyr	177.5	205 días	207.8	Segura, 1988
Brahman	211.5 ± 1.0	240 días	211.5	Segura y González, 1992
Cebú comercial. Hato 1	179.0	270 días	159.1	Segura <i>et al.</i> , 1988
Hato 2	197.0		175.1	
⁵ / ₈ Angus x ³ / ₈ Nelore: G1 ^b	146.5 ± 1.6	205 días	171.5	Manzoni <i>et al.</i> , 1998
G2 ^b	153.6 ± 1.7		179.8	
G3 ^b	140.5 ± 1.3		164.5	
Brahman (B)	205.4 ± 2.7	249 días	197.9	Magaña y Segura, 1998
Indobrasil (I)	212.7 ± 3.3		205.0	
Gyr (G)	211.8 ± 6.9		204.1	
Cebú comercial (C)	204.0 ± 3.9		196.6	
B x I	211.3 ± 4.4		203.7	
B x G	214.6 ± 8.0		206.8	
B x C	206.6 ± 1.9		199.1	
I x G	214.2 ± 5.3		206.5	
I x C	209.1 ± 2.5		201.5	
G x C	203.2 ± 3.2		195.8	
Santa Gertrudis	221.1 ± 0.6	240 días	221.1	Ferraz <i>et al.</i> , 2000
Criollo	132.0 ± 1.7	314 días	100.9	Martínez y Castillo, 2001

^a PD = Peso al destete ajustado por la edad al destete reportada por el autor; EAJ = Edad de ajuste del peso al destete reportada por el autor; PD240 = Peso al destete reajustado a 240 días con base en los datos reportados por el autor.

^b G1 = Generación uno; G2 = Generación dos; G3 = Generación tres.

Por otro lado diversos autores han evaluado genotipos cruzados y puros, reportando un rango de superioridad de los genotipos cruzados con respecto a los puros de 5 a 36% para peso al destete (Ávila, 1984; Reynoso *et al.*, 1987; Magaña y Segura, 1998).

Sexo de la cría. Las diferencias entre sexos oscilan entre el 6 y 15% a favor de los machos (Plasse y Verde, 1980; Martínez *et al.*, 1998; Martínez y Castillo, 2000). Estas diferencias se atribuyen en parte a que los machos son más eficientes que las hembras en la conversión alimenticia, debido a un menor contenido de grasa y mayor contenido de proteína en su ganancia de peso. Diversos autores han reportado efectos significativos ($P < 0.05$) del sexo de la cría sobre el peso al destete (Reynoso *et al.*, 1987; Lozano *et al.*, 1988; Magaña y Segura, 1998).

Kropf *et al.* (1983) analizando sistemas de doble propósito, reportaron un efecto significativo ($P < 0.05$) del sexo sobre la ganancia predestete y un efecto no significativo ($P > 0.05$) de sexo para el consumo de leche, por lo que sugieren que la superioridad de los machos en la ganancia de peso predestete, se debe a la mayor eficiencia de utilización de la leche consumida y a un mayor consumo de forraje.

Año de nacimiento. El año de nacimiento es un factor importante que tiene un marcado efecto en el peso al destete. Esto se puede atribuir a que las condiciones de precipitación y temperatura varían de un año a otro, provocando cambios en la calidad y abundancia de los pastos, lo que repercute directamente sobre el comportamiento de los animales (Magaña y Segura, 1998; Martínez y Castillo, 2000).

Efecto significativo ($P < 0.05$) del año de nacimiento en el peso al destete ha sido reportado por diversos autores (Martínez *et al.*, 1998, en ganado Gyr y Nelore; Plasse y Verde, 1980 y Segura y González, 1992, en ganado Brahman). Sin embargo, Lozano *et al.* (1988) no encontraron efecto significativo ($P > 0.05$) del año de nacimiento sobre el crecimiento predestete y el peso al destete en ganado Guzerat en confinamiento.

Época de nacimiento. Como se mencionó anteriormente, la definición de la época depende de las características de la región. En la ganadería tropical la oferta de nutrientes a través del año es muy variable y el crecimiento del animal depende de la época climática en que nace, ya sea por la escasez de forraje durante la época seca, por el grado de estrés provocado en la época de nortes, o por la concentración de humedad y temperatura durante la época de lluvias. Por ejemplo: si el animal nace al final de la época seca o inicio de la temporada de lluvias, su crecimiento durante la lactancia es, por lo general, favorecido por el crecimiento joven del pasto en el pico de la lactación de su madre y por la

oferta de pasto de buena calidad cuando el becerro comienza a consumir forraje (Martínez *et al.*, 1998; Manzoni *et al.*, 1998).

Vega *et al.* (2000) evaluando el crecimiento de diferentes genotipos en un clima tropical húmedo y alimentación con base en pastoreo, observaron que los mayores pesos al destete ocurrieron en los becerros nacidos en invierno y los menores pesos en los nacidos en verano; señalaron que aunque el crecimiento de los becerros nacidos en verano fue en las mejores épocas para la calidad y cantidad del forraje, el crecimiento de esos becerros estuvo influenciado por efectos de estrés climático.

Edad de la vaca al parto. El efecto materno en el peso al destete varía con la edad de la vaca y está determinado por la capacidad de la vaca para la producción de leche y para proporcionar un ambiente materno adecuado (Meyer *et al.*, 1991; Meyer, 1992). Se observa que los mayores pesos se presentan en aquellas vacas de edades intermedias (de 5 a 9 años) y los menores pesos en aquellas vacas de edades muy avanzadas o muy jóvenes (Reynoso *et al.*, 1987; Manzoni *et al.*, 1998; Arango *et al.*, 1999); llegando la edad de la vaca a explicar el 25% de la variación de esta característica (Martínez *et al.*, 1998).

Cuando se estudió el efecto del número de parto en el peso al destete, Segura *et al.* (1988), Segura y González (1992), y Magaña y Segura (1998) observaron un comportamiento similar al de edad de la vaca, donde los mayores pesos de los becerros ocurrieron en vacas de tres a cinco partos.

Plasse (1979) mencionó que se puede incrementar la magnitud del efecto materno cuando la vaca no ha criado un becerro en el año anterior y por razón de su descanso produzca más leche y críe un becerro más pesado.

Interacciones entre efectos. Efectos significativos ($P < 0.05$) de la interacción año con época de nacimiento han sido reportados por Reynoso *et al.* (1987), Segura *et al.* (1988) y Martínez *et al.* (1998). Por otra parte, Segura *et al.* (1988) y Manzoni *et al.* (1998) reportaron efectos significativos ($P < 0.05$) de la interacción sexo con época de nacimiento, indicando que la magnitud de las diferencias entre sexos a favor de los machos, cambia a través del año.

3.1.3. Crecimiento posdestete

En la fase posdestete se puede evaluar el crecimiento a través del promedio de la ganancia diaria hasta cierta edad o durante un determinado lapso, o mediante el peso de los animales a una edad posdestete uniforme (Plasse, 1979). Las principales características analizadas en el crecimiento posdestete son el peso al año y a los 18 meses de edad, y las ganancias de peso del destete al año (Torner *et al.*, 1984; Manzoni *et al.*, 1998; Ferraz *et al.*, 2000).

En el Cuadro 3.3 se muestran los promedios de pesos a diferentes edades posdestete encontrados en la literatura de bovinos para carne producidos en condiciones tropicales. Los promedios de peso al año de edad en ganado Brahman y Nelore variaron de 221.3 a 260.7 kg y de 212.0 a 225.8 kg, respectivamente.

Cuadro 3.3. Promedios de pesos (kg) a diferentes edades posdestete en bovinos para carne producidos en condiciones tropicales

Genotipo	Característica ^a	Peso (kg)	Autor (es)
Brahman	PA	221.3±1.5	Plasse y Verde, 1980
	P16M	259.2±1.8	
	P24M	338.6±2.5	
Brahman	PA	227.5	Torner <i>et al.</i> , 1984
Brahman	PA	260.7±1.4	Segura y González, 1992
Nelore	PA	212.0±0.3	Eler <i>et al.</i> , 1995
⁵ / ₈ Angus x ³ / ₈ Nelore: G1 ^b G2 ^b G3 ^b	PA	169.3±1.8	Manzoni <i>et al.</i> , 1998
		176.6±1.8	
		160.9±1.6	
	P18M	256.3±2.6	
		260.9±2.6	
		242.7±1.9	
Santa Gertrudis	PA	288.2±0.9	Ferraz <i>et al.</i> , 2000
	P18M	387.8±0.6	
Nelore	PA	225.8±0.3	Cabrera <i>et al.</i> , 2001

^a PA = Peso al año de edad; P16M = Peso a los 16 meses de edad; P18M = Peso a los 18 meses de edad; P24M = Peso a los 24 meses de edad.

^b G1 = Generación uno; G2 = Generación dos; G3 = Generación tres.

Sexo de la cría. La superioridad de los machos con respecto a las hembras para diversos pesos posdestete oscilan entre 10 y 30% (Plasse y Verde, 1980; Torner *et al.*, 1984; Segura y González, 1992; Arango *et al.*, 1998; Manzoni *et al.*, 1998), observándose una separación cada vez mayor de las curvas de crecimiento de los dos sexos, a través de la vida del animal, lo que se puede atribuir al mayor potencial de crecimiento de los machos o manejo nutricional diferente.

Año de nacimiento. Los efectos de año en el crecimiento posdestete se atribuyen a las variaciones en clima y manejo, a la prevalencia de enfermedades epidémicas, y en algunos casos a las tendencias genéticas (Plasse, 1979; Plasse y Verde, 1980; Hoogesteijn *et al.*, 1985). Varios autores (Plasse y Verde, 1980; Torner *et al.*, 1984; Segura y González, 1992) han reportado el efecto altamente significativo ($P < 0.01$) del año de nacimiento sobre el peso al año de edad en ganado Brahman. Por otra parte, Manzoni *et al.* (1998) reportaron el efecto significativo ($P < 0.05$) de año de nacimiento sobre el peso al año y a los 18 meses de edad, y en la ganancia del destete al año, en bovinos Angus x Nelore.

Época de nacimiento. El efecto de época de nacimiento es diferente en el crecimiento posdestete al observado en el crecimiento predestete. Si el animal nace un poco antes o al inicio de la temporada de mejores condiciones nutricionales, su crecimiento predestete será favorecido y por consiguiente el crecimiento posdestete estará restringido, ya que ocurre en las épocas críticas del año. Por otra parte, si el animal nace en las épocas críticas del año su crecimiento predestete será limitado, pero aprovechará las mejores condiciones nutricionales durante la fase posdestete, manifestándose un crecimiento compensatorio (Plasse, 1979).

En la ganadería tropical de la Costa del Atlántico, el efecto de la época de nacimiento sobre el crecimiento posdestete de los animales está determinado por la abundancia de forraje en la época de lluvias, por el grado de estrés en la época de nortes o por la escasez de alimento en la época de secas (Plasse, 1979; Manzoni *et al.*, 1998).

Vega *et al.* (2000) caracterizando el crecimiento de diversas cruzas entre *Bos taurus* x *Bos indicus* en Hueytamalco, Puebla, región conocida como “trópico de altura”, y alimentación con base en pastoreo, reportaron que los pesos al año de edad de los animales nacidos en verano fueron superiores (2% en Pardo Suizo x Cebú, 8% en Brahman e Indobrasil y entre 14 y 19% en cruzas de Angus, Charolais o Hereford con Cebú) a los pesos de animales nacidos en invierno, debido a que los primeros se desarrollaron en las épocas de mejores condiciones climáticas, con buena disponibilidad de forraje y reducidos niveles de estrés.

Manzoni *et al.* (1998) reportaron un efecto altamente significativo ($P < 0.01$) de la época de nacimiento en el peso al año, a los 18 meses y en la ganancia del destete al año, en bovinos Angus x Nelore. Por otra parte, Torner *et al.* (1984) y Segura y González (1992) no encontraron efectos significativos ($P > 0.05$) de la época de nacimiento en el peso al año y a los 18 meses de edad en ganado Brahman, y mencionan que la variación ambiental va perdiendo importancia a medida que el animal se desarrolla y ya no depende de la leche de su madre.

Edad de la vaca al parto. El crecimiento posdestete está determinado principalmente por el potencial del individuo, por lo que si se observan efectos maternos en las etapas posdestete se pueden atribuir a efectos maternos residuales en el peso al destete (Meyer *et al.*, 1991; Meyer, 1992). Manzoni *et al.* (1998) reportaron un efecto altamente significativo ($P < 0.01$) de la edad de la vaca al parto en la variación del peso al año de edad en ganado Angus x Nelore; asimismo, Arango *et al.* (1999) observaron este efecto ($P < 0.01$) en la variación del peso a los 18 meses en ganado Guzerat y Nelore.

El efecto de la edad de la vaca en la ganancia posdestete se atribuye al efecto ambiental proporcionado al becerro durante la gestación y período predestete, por lo que, si una madre proporciona un efecto adecuado (intermedio) hasta el destete, la ganancia posdestete 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 posdestete se reducirá (Elzo *et al.*, 1987).

3.2. Evaluaciones genéticas de características de crecimiento en bovinos para carne

En los programas de mejoramiento genético de los bovinos para carne se requiere definir criterios de selección que maximicen la probabilidad que los machos y hembras seleccionados como reemplazos posean genes de la mejor calidad de acuerdo con las características de interés. Uno de esos criterios es la obtención de los mejores predictores lineales insesgados (BLUP) de los valores genéticos de los animales, involucrando la información productiva de todos los parientes y la información genealógica a través de la matriz de relaciones genéticas aditivas entre ellos, utilizando el modelo animal (Van Vleck y Núñez-Domínguez, 1992)

Valor genético. El valor genético de un animal, también conocido como valor de cría, es el valor de un animal juzgado por el valor promedio de su progenie. El valor genético de un animal para una característica está determinado por los genes que posee y que puede transmitir a su descendencia o progenie (Van Vleck *et al.*, 1987; Bourdon, 1997).

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 es la mitad del valor genético. El valor de la DEP indica la diferencia que se espera en la progenie de un progenitor, con respecto a la progenie de otros progenitores evaluados en el mismo análisis; las DEPs se reportan en las unidades de medida de la característica (BIF, 1996).

El valor genético de los animales no se puede observar, pero puede predecirse a partir de los registros productivos en los candidatos a selección y/o en sus parientes. La inferencia sobre el valor genético se divide en dos partes: 1) determinar mediante la estimación de componentes de varianza, si las características evaluadas tienen una base genética; y 2) implementar métodos razonablemente precisos para la predicción de los valores genéticos (Gianola, 2001).

3.2.1. Estimación de componentes de varianza y parámetros genéticos

La predicción de valores genéticos en bovinos para carne con la metodología de los modelos mixtos, presupone el conocimiento de las varianzas de los efectos aleatorios genéticos y ambientales (Henderson, 1984).

En mejoramiento genético animal se requiere de la estimación de parámetros genéticos para evaluar las diferencias genéticas en las características de los animales. Los parámetros genéticos son necesarios para predecir respuestas a la selección (directa o correlacionada), en la elaboración de índices de selección y en la predicción de los valores genéticos de los animales (Zerlotti *et al.*, 1995). Los parámetros genéticos son estimados en función de varianzas y covarianzas, que normalmente varían en el tiempo y en espacio (Zerlotti *et al.*, 1995), siendo únicos para la característica y población en estudio (Falconer y Mackay, 1996; Van Vleck *et al.*, 1987; Bourdon, 1997).

Índice de constancia o repetibilidad (r_e). Se define como la correlación entre mediciones múltiples de una característica en el mismo individuo. En términos de varianzas, la r_e puede expresarse como el coeficiente que resulta de la división de la varianza genotípica más la varianza ambiental permanente, sobre la varianza fenotípica. Esta relación indica que la repetibilidad expresa la proporción de la varianza de mediciones simples debida a diferencias permanentes entre los individuos, tanto de naturaleza genética como ambiental (Falconer y Mackay, 1996; Van Vleck *et al.*, 1987; Bourdon, 1997).

La repetibilidad se puede estimar como la regresión del comportamiento futuro sobre el comportamiento pasado; además de calcularse como una regresión, se le puede derivar a partir de un análisis de varianza como una correlación intraclase entre los registros de las características en el mismo individuo. Hay dos supuestos implícitos en el concepto de repetibilidad: 1) las varianzas de las diferentes mediciones son iguales y tienen sus componentes en las mismas proporciones, y 2) las diferentes mediciones reflejan lo que es genéticamente la misma característica. Si estos dos supuestos no son válidos la repetibilidad es un concepto vago. En el Cuadro 3.4 se muestran estimaciones de repetibilidad para características de crecimiento en bovinos para carne.

Cuadro 3.4. Estimadores de repetibilidad (r_e) para características de crecimiento en bovinos para carne producidos en condiciones tropicales

Genotipo	Característica	r_e	Autor (es)
Brahman	Peso al destete	0.29	Plasse y Verde, 1980
Hereford (puros)	Peso al nacimiento	0.30	Porte <i>et al.</i> , 1985
	Peso al destete	0.31	
Hereford (cruzados)	Peso al nacimiento	0.30	
	Peso al destete	0.28	
Cebú comercial	Peso al nacimiento	0.08	Cuevas, 1987
Simmental	Peso al destete	0.21	Wright <i>et al.</i> , 1987
Suizo Pardo	Peso al nacimiento	0.22	Navarro, 1994
	Peso al destete	0.24	
Indobrasil	Peso al nacimiento	0.64	Castro, 1995
	Peso al destete	0.26	
Suizo Europeo	Peso al nacimiento	0.22	
	Peso al destete	0.24	
Brahman	Peso al nacimiento	0.23	Cárdenas <i>et al.</i> , 2001
	Peso al destete	0.26	
	Peso a los 18 meses	0.24	
Brangus	Peso al nacimiento	0.16	Guerra, 2001
	Peso al destete	0.49	
	Peso al año	0.51	

Las estimaciones de repetibilidad encontradas en la literatura para peso al nacimiento fluctúan de 0.08 a 0.64, mientras que las estimaciones en peso al destete tienen una variación menor, con valores de 0.24 a 0.49. Los valores de repetibilidad para pesos posdestete, son atribuidos a un efecto materno ambiental proporcionado durante los primeros meses de vida del becerro, que influye de manera residual sobre los pesos al año y a los 18 meses de edad de los becerros (Cárdenas *et al.*, 2001).

Con base en la estimación del índice de constancia se puede calcular la capacidad probable de producción, que permite clasificar a los animales de acuerdo con sus niveles productivos en el siguiente registro y tener un criterio para identificar los animales a desechar.

Índice de herencia o heredabilidad (h^2). El índice de herencia es un parámetro genético que expresa la proporción de la varianza fenotípica atribuible a los efectos aditivos de los genes. Este parámetro genético es de gran importancia en un programa de mejoramiento, ya que si su magnitud es baja, la selección de futuros reproductores causará cambios muy pequeños en el comportamiento productivo de la progenie (Van Vleck *et al.*, 1987; Bourdon, 1997).

El crecimiento de los bovinos para carne está determinado por los efectos directos y maternos; el efecto materno tiene un componente ambiental y otro genético, que debe de ser considerado en los programas de selección (Willham, 1972; Baker, 1980).

La máxima contribución de los efectos genéticos maternos como proporción de la varianza fenotípica (h^2_m , heredabilidad de efectos genéticos maternos) es alrededor del destete, posteriormente va decreciendo hasta desaparecer. Por otra parte, el índice de herencia para efectos genéticos directos (h^2_g) tiene un comportamiento diferente al observado en los efectos maternos, ya que los valores de h^2_g son generalmente bajos alrededor del destete y con una tendencia a incrementarse en el crecimiento posdestete (Meyer, 1992; Waldron *et al.*, 1993; Robinson, 1996). Otros autores (Galvao y Meyer, 2001), evaluando el crecimiento desde el peso al nacimiento hasta el peso a los 600 días de edad en ganado Nelore mediante dos modelos, reportaron que los estimadores de h^2_g para el peso al nacimiento (0.28) decrecieron hasta 0.12 para el peso a los

150 días de edad, manteniéndose constante entre 0.14 y 0.16 hasta los 270 días de edad, y a partir de ahí se incrementó conforme a la edad, hasta alcanzar valores de 0.25 y 0.26. Por otra parte, el h^2_m también presentó un comportamiento curvilíneo pero opuesto al observado en los efectos genéticos directos; los valores de h^2_m para peso al nacimiento (0.01) se incrementaron hasta 0.14 en pesos de 180 a 210 días de edad, decreciendo moderadamente (0.07 – 0.08) hasta los 300 días de edad, y posteriormente decreció rápidamente hasta desaparecer.

Por su parte Van Vleck *et al.* (1996) mencionan que el potencial genético del becerro para crecimiento, heredado de madres a hijos, es el mismo si la madre es novillona de primer parto o vaca de edad avanzada y que las diferencias observadas en pesos al destete en diferentes edades de la vaca se deben al potencial de ésta para la producción de leche y para proporcionar un ambiente adecuado.

En el Cuadro 3.5 se presentan estimadores de heredabilidades para peso al nacimiento y al destete, y para la ganancia de peso en los 160 días posdestete; así como las correlaciones genéticas entre efectos directos y maternos para peso al destete, usadas en los programas nacionales de evaluaciones genéticas de algunas razas de bovinos para carne en los Estados Unidos de América (BIF, 1996).

Cuadro 3.5. Estimadores de heredabilidad de efectos genéticos directos (h^2_g) y maternos (h^2_m), y correlaciones entre efectos genéticos directos y maternos (r_{gm}), para peso al nacimiento (PN) y al destete (PD) utilizadas en los programas de evaluaciones genéticas de bovinos para carne en los Estados Unidos de América

Raza	PN		PD			GPD ^a	
	h^2_g	h^2_m	h^2_g	h^2_m	r_{gm}	h^2_g	$r_{g(PD, GPD)}^b$
Angus	0.33	0	0.18	0.14	0	0.17	0
Beefmaster	0.16	0.28	0.18	0.19	-0.28	0.28	0.35
Brahman	0.26	0.15	0.22	0.15	0	0.31	0.35
Brangus	0.28	0.12	0.28	0.20	-0.29	0.20	0.30
Charolais	0.52	0	0.43	0.22	0	0.26	0.08
Gelbvieh	0.42	0.12	0.23	0.11	-0.21	0.19	0.40
Hereford	0.33	0	0.24	0.23	-0.28	0.16	0.30
Limousin	0.42	0.19	0.23	0.19	0	0.20	0.28
Polled Hereford	0.45	0.22	0.23	0.30	-0.27	0.22	0.42
Red Angus	0.46	0	0.36	0.09	0	0.36	0.18
Salers	0.28	0	0.17	0.13	0	0.08	0.14
Simmental (Machos)	0.39	0	0.28	0.16	-0.32	0.26	0.51
Simmental (Hembras)	0.45	0	0.33	0.15	-0.32	0.32	0.51

^a Ganancia de peso a los 160 días posdestete

^b Correlación genética entre peso al destete y ganancia de peso a los 160 días posdestete

De acuerdo con el Cuadro 3.5 existen marcadas diferencias entre razas en la estimación de parámetros genéticos. En el caso del ganado Simmental consideran componentes de varianza heterogéneos por sexos, por lo que estiman parámetros genéticos de manera independiente para cada sexo. Con relación al peso al nacimiento se observa una gran variación en los estimadores de la heredabilidad para efectos genéticos directos (h^2_g) con valores que oscilan de 0.16 (en Beefmaster) hasta 0.52 (en Charolais); en lo que respecta a la estimación de heredabilidad de efectos genéticos maternos (h^2_m) se observa que ciertas razas reportan valores de cero, hasta de 0.28 para la raza Beefmaster.

En peso al destete las estimaciones de h^2_g oscilan de 0.17 (Salers) a 0.43 (Charolais) y las de h^2_m oscilan de 0.09 (Red Angus) a 0.30 (Polled Hereford). Por otra parte, en algunas razas la evaluación del peso al año de edad se determina a partir de la evaluación del peso al destete más la ganancia de peso del destete al año de edad. En las ganancias de peso a los 160 días posdestete, las estimaciones de heredabilidad de efectos genéticos directos realizadas por las evaluaciones nacionales de los Estados Unidos oscilan de 0.08 (Salers) a 0.36 (Red Angus).

Cabe mencionar que las correlaciones genéticas entre peso al destete y la ganancia de peso posdestete reportadas en las evaluaciones nacionales de Estados Unidos (Cuadro 3.5) fluctúan desde cero en ganado Angus hasta valores máximos de 0.51 en ganado Simmental; pudiendo indicar que parte de los genes que determinan el peso al destete también determinan la ganancia de peso posdestete (efecto pleiotrópico).

Dodenhoff *et al.* (1999b) evaluando el peso al destete con un modelo que consideró los efectos genéticos directos y maternos y la covarianza entre ellos, más los efectos maternos de ambiente permanente en nueve razas puras y tres sintéticas, reportaron estimadores de heredabilidades de efectos genéticos directos de 0.11 (Charolais) a 0.34 (MARC I), y heredabilidades de efectos genéticos maternos de 0.03 (MARC III) a 0.25 (Simmental). En lo que respecta a los efectos maternos de ambiente permanente como proporción de la

varianza total, reportan valores que oscilan de 0.01 en bovinos Gelviah a 0.29 en la raza Hereford (Cuadro 3.6).

Cuadro 3.6. Estimadores de heredabilidad de efectos genéticos directos (h^2_g), y maternos (h^2_m), proporción de la varianza fenotípica atribuida a efectos maternos de ambiente permanente (c^2), y correlación entre efectos genéticos directos y maternos (r_{gm}) para peso al destete de diferentes razas de bovinos para carne

Raza	h^2_g	h^2_m	c^2	r_{gm}
Angus	0.25	0.11	0.21	-0.15
Braunvieh	0.27	0.09	0.11	0.28
Charolais	0.11	0.14	0.21	-0.12
Gelbvieh	0.27	0.10	0.01	0.05
Hereford	0.17	0.16	0.29	-0.37
Limousin	0.26	0.14	0.18	-0.18
Pinzgauer	0.34	0.04	0.11	0.40
Red Poll	0.25	0.07	0.11	0.64
Simmental	0.22	0.25	0.05	-0.10
MARC I	0.34	0.03	0.11	0.51
MARC II	0.23	0.08	0.11	0.08
MARC III	0.33	0.03	0.16	0.37

Promediando las estimaciones en las razas sintéticas y en las razas puras, se observa que las heredabilidades de efectos genéticos directos son más altas (26%) en las razas sintéticas, atribuyéndolo a la variabilidad genética existente producto de las razas involucradas en su formación. Por el contrario, las razas puras presentan heredabilidades de efectos genéticos maternos más altas (65%). En lo que respecta al ambiente permanente como una proporción de la varianza total, las estimaciones en las razas puras son 11.8% mayores.

Correlaciones. Ferraz *et al.* (2000), evaluando características de crecimiento en ganado Santa Gertrudis, reportaron correlaciones entre efectos genéticos directos y maternos (r_{gm}) de -0.39, -0.53 y -0.73 en peso al nacimiento, al destete y a los 18 meses de edad, respectivamente; atribuyéndolas a un antagonismo genético entre ambos efectos. Por otra parte, Ferraz *et al.* (2001) evaluando el peso al destete en ganado Tabapua, reportaron estimaciones de r_{gm} de -0.42, señalando que los genes que proporcionan potencial de crecimiento del becerro son parcialmente incompatibles con aquellos que determinan habilidad para la producción de leche. Por otro lado, Van Vleck *et al.* (1996) evaluando el comportamiento de la correlación entre efectos genéticos directos y maternos a través de la edad de la vaca, en ganado Angus, Braunvieh, Charolais, Gelvieh, Hereford, Limousin, Pinzgauer, Red Poll, Simmental, MARC I, MARC II y MARC III, reportaron que la correlación promedio para las razas puras (cercana a cero) no varió a través de la edad de la vaca; asimismo, observaron una correlación negativa entre efectos genéticos directos y maternos en la raza sintética MARC II (-0.19), que se atribuye a las covarianzas genéticas de las razas involucradas en su formación.

Con base en las estimaciones de parámetros genéticos de los programas nacionales de evaluaciones genéticas en Estados Unidos (Cuadro 3.5), en peso al destete se observan correlaciones entre efectos genéticos directos y maternos iguales a cero en algunas razas (Angus, Brahman, Charolais, Limousin, Red Angus, Salers) y diferente de cero en otras razas (Beefmaster, Brangus, Gelbvieh, Hereford, Polled Hereford, Simmental), con valores que

fluctúan de -0.21 en la raza Gelbvieh a -0.32 en ganado Simmental (BIF, 1996).

Dodenhoff *et al.* (1999b) analizando el peso al destete de nueve razas puras y tres sintéticas reportaron correlaciones entre efectos genéticos directos y maternos que fluctúan desde -0.37 en bovinos Hereford hasta 0.51 en la raza MARC I (Cuadro 3.6).

Waldron *et al.* (1993) señalan que en las hembras con altos niveles de crecimiento corporal, el desarrollo de la glándula mamaria se ve restringido, inhibiendo la futura habilidad materna y manifestándose en una correlación negativa entre efectos genéticos directos y maternos. Por otra parte, se menciona que vacas con muy buena habilidad materna, pueden influir negativamente en la futura habilidad materna de sus crías, expresándose en una correlación negativa y alta entre efectos genéticos directos y maternos, producto de la sobrealimentación de las crías (Dodenhoff *et al.*, 1998; Dodenhoff *et al.*, 1999b).

En estudios donde se ha evaluado la incorporación de la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos en los modelos de evaluaciones genéticas, Cabrera *et al.* (2001) analizando el peso a los 120, 240 y 365 días de edad en ganado Nelore, reportaron que el modelo que mejor se ajustaba a describir la variación de los datos era aquel que consideraba la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos, observando correlaciones negativas

entre ellos, además que los valores de h^2_g y h^2_m aumentaban al incluir esta covarianza. Asimismo, Lee *et al.* (1997) estimando componentes de varianza en el peso al destete en ganado Simmental, concluyen que las evaluaciones nacionales del ganado Simmental deben de considerar la correlación negativa entre efectos genéticos directos y maternos, coincidiendo con lo especificado en el Cuadro 3.5.

Como posibles causas no genéticas que pueden incidir en la estimación de la correlación genética entre efectos genéticos directos y maternos, Robinson (1996) menciona que esta puede estar confundida con la interacción semental con hato, año o estación de empadre. Al respecto, Berweger *et al.* (1999) analizando en el peso al destete en ganado Angus, y comparando una serie de modelos considerando de la interacción semental con hato (SH), observaron que aquellos modelos que incluyeron la interacción SH fueron significativamente mejores ($P < 0.01$) que aquellos que la ignoraron; además, al no incluir la interacción SH en los modelos, resultaba una correlación entre efectos genéticos directos y maternos alta y negativa, y al incluir la interacción SH se reducía la h^2_g en aproximadamente 30%.

Por otra parte, se menciona que la estimación de componentes de varianza puede variar cuando se analizan datos con cierto grado de selección (Mallinckrodt *et al.*, 1995), o que el archivo de pedigrí no tenga las identificaciones de los sementales correctas o completas, repercutiendo en una interacción semental con año (Lee y Pollak, 1997).

En una revisión de literatura, Zerlotti *et al.* (1995) reportaron promedios de estimadores de parámetros genéticos para características de crecimiento en bovinos producidos en regiones tropicales, ponderados por el número de observaciones utilizados en el estudio (Cuadro 3.7).

Cuadro 3.7. Promedios de estimaciones de heredabilidad de efectos genéticos directos (h^2_g) y maternos (h^2_m), correlaciones entre efectos genéticos directos y maternos (r_{gm}) y heredabilidad total (h^2_t), en estudios de bovinos para carne en condiciones tropicales, ponderados por el número de observaciones

Característica	h^2_g	h^2_m	r_{gm}	h^2_t
Peso al nacimiento	0.33 (7) ^a	0.12 (7)	-0.37 (6)	0.29 (6)
Peso al destete	0.22 (12)	0.18 (12)	-0.23 (7)	0.22 (8)
Peso a los 365 días	0.20 (5)	0.16 (5)	-0.30 (4)	0.19 (4)
Peso a los 550 días	0.38 (3)	0.05 (3)		
Peso a los 700 días	0.38 (3)	0.07 (3)		
Peso a los 900 días	0.28 (3)	0.12 (3)		

^a Valores entre paréntesis corresponde al número de estudios

Zerlotti *et al.* (1995) mencionan que el peso al nacimiento está determinado en su mayor parte por los genes del propio individuo, aun cuando la capacidad genética de la vaca para proveer buena nutrición y ambiente uterino muestre influencia sobre el peso al nacimiento. En peso al destete se observa un efecto materno mayor, debido probablemente a que en bovinos para carne la habilidad materna es determinada principalmente por la producción de leche, y por ello las diferencias genéticas entre vacas aparecerían mejor reflejadas en el peso al destete. A pesar de que el mayor efecto materno es al destete, en estos resultados también se observan efectos maternos para características posdestete. Con respecto a las correlaciones entre efectos genéticos directos y

maternos, estos autores citan que los genes que proporcionan potencial para crecimiento del becerro son parcialmente incompatibles con aquellos que determinan habilidad para la producción de leche.

Las magnitudes de los estimadores de parámetros genéticos observados en poblaciones bovinas criadas en ambientes templados tienden a ser mayores a las observadas en ambientes tropicales. Con base en el promedio aritmético de los estimadores en el Cuadro 3.5 y en los promedios en el Cuadro 3.7, se observa que las h^2_g y h^2_m para peso al nacimiento, y h^2_g para peso al destete utilizadas en las evaluaciones nacionales de Estados Unidos son superiores a las reportadas en bovinos para carne producidos en condiciones tropicales en 9, 50 y 18%, respectivamente; por el contrario, las h^2_m de peso al destete son superiores en los reportes de bovinos para carne producidos en condiciones tropicales en un 6%. Estas diferencias posiblemente se deban a diferencias en los genotipos utilizados y la mayor variabilidad ambiental en el trópico, determinada por fluctuaciones climáticas (Zerlotti *et al.*, 1995).

En el Cuadro 3.8 se presenta un resumen de la estimación de parámetros genéticos de algunos reportes de la literatura para características de crecimiento en bovinos para carne.

Cuadro 3.8. Estimadores de heredabilidad de efectos genéticos directos (h^2_g) y maternos (h^2_m), correlación entre efectos genéticos directos y maternos (r_{gm}), y proporción de la varianza fenotípica atribuida a efectos maternos de ambiente permanente (c^2) para características de crecimiento en bovinos para carne

Genotipo	Caract. ^a	h^2_g	h^2_m	c^2	r_{gm}	Autor (es)
Nelore	PN	0.22	0.12	0.07	-0.72	Eler <i>et al.</i> , 1995
	PD	0.13	0.13	0.14	-0.32	
	PA	0.16	0.10	0.02	0.09	
Angus	G168D	0.45				Bennett y Gregory, 1996
Braunvieh	G168D	0.48				
Charolais	G168D	0.46				
Gelbvieh	G168D	0.45				
Hereford	G168D	0.39				
Limousin	G168D	0.45				
Pinzgauer	G168D	0.51				
Red Poll	G168D	0.45				
Simmental	G168D	0.50				
MARC I	G168D	0.49				
MARC II	G168D	0.50				
MARC III	G168D	0.59				
Santa Gertrudis	PN	0.16	0.09		-0.39	Ferraz <i>et al.</i> , 2000
	P120	0.06	0.16		0.50	
	PD	0.13	0.10		-0.53	
	PA	0.12	0.01		1.00	
	P18M	0.13	0.06		-0.73	
Nativos	PA	0.23	0.07	0.03	-0.91	Lee <i>et al.</i> , 2000
coreanos	P18M	0.11	0.00	0.01	0.87	
Nelore	P120	0.26	0.11	0.17	-0.22	Cabrera <i>et al.</i> , 2001
	PD	0.25	0.10	0.17	-0.19	
	PA	0.33	0.10	0.08	-0.43	
Brahman	PN	0.09	0.14	0.09		Cárdenas <i>et al.</i> , 2001
	PD	0.08	0.12	0.14		
	P18M	0.17	0.08	0.16		

^a Características analizadas: PN = peso al nacimiento; P120 = peso a los 120 días de edad; PD = peso al destete; PA = peso al año; P18M = peso a los 18 meses; G168D = ganancia de peso a los 168 días posdestete.

Las estimaciones de h^2_m reportadas por Zerlotti *et al.* (1995) para características posdestete de bovinos para carne producidos en condiciones tropicales (Cuadro 3.7), las de Eler *et al.* (1995) y Cabrera *et al.* (2001) para peso al año de bovinos Nelore y las de Ferraz *et al.* (2000) y Cárdenas *et al.* (2001) para peso a los 18 meses en ganado Santa Gertrudis y Brahman, respectivamente (Cuadro 3.8), son inesperadas, ya que generalmente el mayor efecto materno se manifiesta hasta el destete, y posteriormente el crecimiento está determinado principalmente por el potencial de los efectos genéticos directos del individuo.

3.2.4. Modelos utilizados en las evaluaciones de los bovinos para carne

Las metodologías para la evaluación genética de los animales han evolucionado en función de tres factores importantes y complementarios: 1) el desarrollo de modelos cada vez más completos, con propiedades deseables desde los puntos de vista estadísticos y biológicos; 2) el avance en la capacidad de memoria y velocidad en el equipo de computo; y 3) el desarrollo de algoritmos eficientes que permiten la aplicación de modelos biológicamente cada vez más completos (Meyer *et al.*, 1992; Ferreira *et al.*, 1999). Como ejemplo de esta evolución, la aplicación de metodologías de los modelos mixtos en las evaluaciones genéticas en bovinos para carne se inició con el uso de modelos simples, como el modelo de semental, ignorando las relaciones genéticas aditivas entre los animales y considerando una característica a la vez (Meyer, 1992; Robinson, 1996; Ferreira *et al.*, 1999).

Con el objetivo de hacer eficiente la estimación de componentes de varianza y predicción de los valores genéticos, en los trabajos de comparación de modelos se busca identificar un modelo, partiendo del modelo más completo, que incluya sólo los efectos aleatorios que mejoren significativamente el ajuste a los datos para cada característica evaluada.

Una método utilizado en la comparación de modelos, es la prueba de proporciones de verosimilitud (Mood *et al.*, 1974), la cual se basa en las diferencias de los valores de la función de máxima verosimilitud $-2[\log L_i - \log L_j]$ y que se distribuye como ji cuadrada, con grados de libertad equivalentes a

la diferencia en el número de parámetros en el modelo completo (Li) y en el submodelo (Li').

Con el objetivo de determinar la variación en los estimadores de parámetros genéticos cuando la influencia del fenotipo de la vaca en la habilidad materna de sus hijas se estudió mediante la regresión en el fenotipo materno o a través de los efectos de la abuela materna; así como determinar el efecto de la interacción semental x hato-año, Dodenhoff *et al.* (1999a) evaluaron el peso al destete en ganado Angus de tres regiones de los Estados Unidos, comparando seis modelos, partiendo del modelo animal que incluía los efectos genéticos directos y maternos, y su covarianza, y los efectos maternos de ambiente permanente; otros modelos incluyeron además los efectos de abuela materna (genéticos y ambientales), así como la covarianza entre efectos genéticos maternos y de abuela materna, el efecto del fenotipo materno considerando la covariable del peso al destete de la madre, y la interacción semental con hato-año (SH). Estos autores reportaron que las h^2_g y h^2_m pueden ser sobreestimadas y la r_{gm} puede ser subestimada, si no se incluye el efecto de la interacción SH en los modelos de evaluación; asimismo, fueron más importantes los efectos de la abuela materna (genéticos y ambientales), que el efecto de la covariable de peso al destete de la madre, confirmando que existe una influencia negativa de vacas con buena habilidad materna sobre la futura habilidad materna de sus crías.

Lee *et al.* (2000) estimando parámetros genéticos para efectos directos y maternos en bovino nativos de Korea, compararon varios modelos con y sin la inclusión del efecto aleatorio de la interacción semental-región-año-estación (SRGE), encontraron que al incluir los efectos de la interacción SRGE, las estimaciones de h^2_g se redujeron, en comparación con los modelos que no consideraron dicha interacción, recomendando utilizar este efecto en los modelos de evaluación del peso al año de edad.

Ferreira *et al.* (1999) evaluando el peso al nacimiento, al destete y al año de edad en ganado Hereford, compararon 12 modelos, a partir de un modelo de semental sin relaciones genéticas aditivas entre sementales, modelos que incluían únicamente estas relaciones genéticas entre sementales, y otros que consideraban todas las relaciones genéticas aditivas entre los animales, observaron que los modelos de semental y aquéllos donde no se consideraban las relaciones genéticas aditivas, subestiman los estimadores de h^2_g .

En el Cuadro 3.9 se presentan estimadores de parámetros para características de crecimiento obtenidas mediante un modelo animal, pero evaluando la importancia de los efectos maternos (genéticos y ambientales) en estudios de comparaciones de modelos. Meyer (1992) evaluando la influencia de los efectos maternos, genéticos y de ambiente permanente, en el peso al nacimiento (PN) en ganado Hereford y Angus, al destete (PD), al año (PA) y peso final (PF) en ganado Angus, Hereford y Cebú, comparó seis modelos partiendo de un modelo completo, el cual consideraba los efectos genéticos directos y

Cuadro 3.9. Estimadores de parámetros genéticos para características de crecimiento en estudios sobre comparaciones de modelos^a

Genotipo	Modelos ^b															Autor (es)	
	D			DP			DM			DMC			DMP				DMCP
	h^2_g	h^2_g	c^2	h^2_g	h^2_m	h^2_g	h^2_m	r_{gm}	h^2_g	h^2_m	c^2	h^2_g	h^2_m	r_{gm}	c^2		
Peso al nacimiento																	
Hereford	0.56	0.48	0.10	0.39	0.14	0.38	0.13	0.05	0.41	0.08	0.05	0.40	0.08	0.03	0.05	Meyer, 1992	
Angus	0.44	0.32	0.12	0.22	0.19	0.19	0.17	0.19	0.22	0.15	0.03	0.19	0.13	0.22	0.03	Waldron <i>et al.</i> , 1993	
Hereford	0.50	0.43	0.11			0.23	0.14	0.30				0.24	0.11	0.37	0.03		
Angus (H1) ^c	0.48	0.40	0.09			0.31	0.09	0.26				0.33	0.04	0.28	0.06		
Angus (H2)	0.47	0.38	0.12			0.29	0.14	0.09				0.32	0.06	0.13	0.07	Robinson, 1996	
Angus	0.43	0.36	0.11	0.35	0.10	0.48	0.23	-0.54	0.34	0.08	0.04	0.47	0.17	-0.61	0.06		
Peso al destete																	
Hereford	0.25	0.10	0.29	0.06	0.34	0.13	0.46	-0.59	0.08	0.06	0.23	0.13	0.13	-0.58	0.23	Meyer, 1992	
Angus	0.43	0.31	0.12	0.21	0.19	0.19	0.17	0.19	0.22	0.15	0.03	0.19	0.13	0.22	0.03	Waldron <i>et al.</i> , 1993	
Cebu	0.34	0.27	0.23	0.23	0.23	0.59	0.48	-0.74	0.25	0.11	0.13	0.58	0.36	-0.78	0.10		
Hereford	0.36	0.16	0.30			0.14	0.41	-0.40				0.15	0.13	-0.35	0.21		
Angus (H1) ^c	0.42	0.18	0.25			0.12	0.28	0.04				0.14	0.11	0.06	0.15	Robinson, 1996	
Angus (H2)	0.38	0.15	0.22			0.12	0.25	0.00				0.13	0.15	0.00	0.09		
Angus	0.40	0.23	0.15	0.19	0.23	0.28	0.32	-0.41	0.20	0.07	0.15	0.29	0.14	-0.52	0.15		
Angus		0.17	0.13			0.23	0.20	-0.44	0.18	0.04	0.09	0.24	0.10	-0.50	0.09	Berweger <i>et al.</i> , 1999	
Tabapua	0.27	0.15	0.09			0.16	0.15	-0.42				0.16	0.10	-0.42	0.04	Ferraz <i>et al.</i> , 2001	

^a Los estimadores de parámetros resaltados con negritas y cursivas indican el mejor modelo.

^b Efectos considerados en los modelos: D = efectos genéticos aditivos directos; M = efectos genéticos aditivos maternos; C = covarianza entre los efectos genéticos aditivos directos y maternos; P = efectos maternos de ambiente permanente. Parámetros estimados: h²_g = heredabilidad de efectos genéticos directos; h²_m = heredabilidad de efectos genéticos maternos; r_{gm} = correlación entre efectos genéticos directos y maternos; c² = proporción de la varianza fenotípica atribuida a efectos maternos ambientales.

^c H1 = Hato 1; H2 = Hato 2.

Cuadro 3.9. Continuación

Genotipo	Modelos ^b														Autor (es)
	D h ² _g	DP h ² _g c ²	DM h ² _g h ² _m	DMC h ² _g h ² _m	r _{gm}		DMP h ² _g h ² _m c ²	DMCP h ² _g h ² _m r _{gm} c ²							
Peso al año															
Hereford	0.20	0.13 0.09	0.12 0.09	0.15 0.14	-0.40	0.12 0.06 0.04	0.15 0.10 -0.48 0.05	Meyer, 1992							
Angus	0.49	0.44 0.05	0.39 0.08	0.31 0.05	0.44	0.40 0.05 0.02	0.32 0.03 0.48 0.02								
Cebu	0.26	0.22 0.09	0.17 0.11	0.24 0.16	-0.37	0.17 0.09 0.02	0.24 0.14 -0.39 0.02								
Hereford	0.45	0.37 0.08		0.26 0.05	0.70		0.38 0.01 0.95 0.01	Waldron <i>et al.</i> , 1993							
Angus (H1) ^c	0.42	0.37 0.05		0.30 0.08	0.04		0.20 0.08 0.39 0.00								
Angus (H2)	0.41	0.41 0.08		0.28 0.07	0.19		0.39 0.04 0.16 0.01								
Angus	0.31	0.23 0.11	0.22 0.10	0.33 0.23	-0.56	0.22 0.03 0.09	0.33 0.12 -0.72 0.10	Robinson, 1996							
Peso a los 18 meses de edad															
Hereford	0.48	0.46 0.03		0.37 0.01	0.91		0.38 0.01 0.95 0.01	Waldron <i>et al.</i> , 1993							
Angus (H1) ^c	0.44	0.37 0.05		0.20 0.08	0.39		0.20 0.08 0.39 0.00								
Angus (H2)	0.54	0.48 0.04		0.37 0.05	0.20		0.39 0.04 0.16 0.01								
Peso final															
Hereford	0.28	0.21 0.09	0.21 0.06	0.21 0.06	-0.04	0.20 0.02 0.08	0.21 0.03 -0.20 0.09	Meyer, 1992							
Angus	0.46	0.46 0.00	0.46 0.00	0.45 0.00	0.91										
Cebú	0.28	0.25 0.05	0.23 0.05	0.19 0.02	0.60	0.24 0.01 0.05	0.19 0.01 1.00 0.04								
Angus	0.29	0.26 0.06	0.24 0.04	0.28 0.10	-0.65	0.24 0.02 0.04	0.28 0.06 -0.70 0.04	Robinson, 1996							

^a Los estimadores de parámetros resaltados con negritas y cursivas indican el mejor modelo.

^b Efectos considerados en los modelos: D = efectos genéticos aditivos directos; M = efectos genéticos aditivos maternos; C = covarianza entre los efectos genéticos aditivos directos y maternos; P = efectos maternos de ambiente permanente. Parámetros estimados: h^2_g = heredabilidad de efectos genéticos directos; h^2_m = heredabilidad de efectos genéticos maternos; r_{gm} = correlación entre efectos genéticos directos y maternos; c^2 = proporción de la varianza fenotípica atribuida a efectos maternos ambientales.

^c H1 = Hato 1; H2 = Hato 2.

maternos, y la covarianza entre éstos, más los efectos maternos de ambiente permanente, y a partir de ahí presentan sub modelos con la consideración o no de la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos, y la inclusión o no de los efectos maternos. Con base en la prueba de proporciones verosimilitud determinaron el modelo que mejor se ajustaba a describir la variación de los datos. El modelo completo tuvo mejor ajuste a la variación de PN, PD, PA y PF para Hereford; mientras que el modelo con sólo efectos directos fue el mejor para PF de Angus y el que incluyó efectos directos y maternos, más los efectos maternos de ambiente permanente fue el mejor para PF de Cebú.

Robinson (1996) evaluó el comportamiento de los efectos directos y maternos (genéticos y ambientales) en PN, PD, PA y PF de cinco hatos de ganado Angus Australiano, en una comparación de modelos similar a la descrita anteriormente (Meyer, 1992), más la adición de dos modelos de semental (modelo de semental con y sin relaciones genéticas aditivas). Analizó por separado cada hato y los resultados presentados en el Cuadro 3.9 corresponden al promedio de todas las estimaciones. De acuerdo con los valores de verosimilitud se observa que para PN, el modelo que mejor se ajustó para describir la variación de los datos es aquel que considera los efectos genéticos directos y materno, más los efectos maternos de ambiente permanente. Para PD y PA el modelo que mejor se ajustó es aquel que considera los efectos genéticos directos y maternos, más la covarianza entre ellos. Para PF, el modelo seleccionado es aquel que considera los efectos genéticos directos y maternos. Para PN, evaluando de manera separada los efectos maternos, el efecto genético fue

más importante que el efecto de ambiente permanente. Por otra parte, este autor analizando por separado los efectos maternos, sin considerar la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos, señala que para PD y PA pueden ser más importantes los efectos de ambiente permanente que los efectos genéticos.

Waldron *et al.* (1993) analizaron la estimación de componentes de varianza y parámetros genéticos para PN, PD, PA y peso a los 18 meses de edad en dos hatos de ganado Angus y uno de Hereford de Nueva Zelanda. Compararon cuatro modelos (Cuadro 3.9) poniendo principal atención en la magnitud de los parámetros genéticos sin realizar una prueba de comparación de modelos específica. Estos autores mencionan que el observar efectos maternos en el crecimiento posdestete se puede atribuir a efectos residuales en el peso al destete, coincidiendo con lo reportado por Meyer (1992) y Robinson (1996). Por otra parte, estos autores señalan que en los modelos donde no se incluyen los efectos genéticos maternos tiende a sobrestimarse los valores de h^2_g , mientras que en los modelos donde no se incluyen los efectos maternos de ambiente permanente, tiende a incrementarse la h^2_m , coincidiendo con lo reportado por Meyer (1992) y Robinson (1996).

En el Cuadro 3.10 se presentan los intervalos de estimadores de parámetros genéticos para características de crecimiento, de acuerdo con los modelos comparados en el Cuadro 3.9.

Cuadro 3.10. Intervalo de estimadores de parámetros genéticos para características de crecimiento en estudios de comparación de modelos encontrados en la literatura

Modelos ^b	Ítem ^c	Características ^a				
		PN	PD	PA	P18M	PF
D	h^2_g	0.43 a 0.56	0.25 a 0.44	0.20 a 0.49	0.44 a 0.54	0.25 a 0.46
DP	h^2_g	0.32 a 0.48	0.10 a 0.31	0.13 a 0.44	0.37 a 0.48	0.21 a 0.46
	c^2	0.09 a 0.12	0.09 a 0.30	0.05 a 0.11	0.03 a 0.05	0.00 a 0.09
DM	h^2_g	0.22 a 0.39	0.06 a 0.21	0.12 a 0.39		0.21 a 0.46
	h^2_m	0.10 a 0.19	0.19 a 0.34	0.08 a 0.11		0.00 a 0.06
DMC	h^2_g	0.19 a 0.48	0.12 a 0.59	0.15 a 0.33	0.20 a 0.37	0.19 a 0.45
	h^2_m	0.09 a 0.23	0.15 a 0.48	0.05 a 0.23	0.01 a 0.08	0.00 a 0.10
	r_{gm}	-0.54 a 0.30	-0.74 a 0.19	-0.56 a 0.70	0.20 a 0.91	-0.65 a 0.91
DMP	h^2_g	0.22 a 0.41	0.08 a 0.25	0.12 a 0.40		0.20 a 0.24
	h^2_m	0.08 a 0.15	0.04 a 0.15	0.03 a 0.09		0.01 a 0.02
	c^2	0.03 a 0.05	0.03 a 0.23	0.02 a 0.09		0.04 a 0.08
DMCP	h^2_g	0.19 a 0.47	0.13 a 0.58	0.15 a 0.39	0.20 a 0.39	0.19 a 0.28
	h^2_m	0.04 a 0.17	0.10 a 0.36	0.01 a 0.14	0.01 a 0.08	0.01 a 0.06
	r_{gm}	-0.61 a 0.37	-0.78 a 0.22	-0.72 a 0.95	0.16 a 0.95	-0.70 a 1.00
	c^2	0.01 a 0.07	0.03 a 0.23	0.00 a 0.10	0.00 a 0.01	0.04 a 0.09

^a PN = Peso al nacimiento; PD = Peso al destete; PA = Peso al año; P18M = Peso a los 18 meses; PF = Peso final.

^b Efectos considerados en el modelo: D = efectos genéticos aditivos directos; M = efectos genéticos aditivos maternos; C = covarianza entre los efectos genéticos aditivos directos y maternos; P = efectos maternos de ambiente permanente.

^c Parámetros estimados: h^2_g = heredabilidad de efectos genéticos directos; h^2_m = heredabilidad de efectos genéticos maternos; r_{gm} = correlación entre efectos genéticos directos y maternos; c^2 = proporción de la varianza fenotípica atribuida a efectos maternos ambientales.

3.2.5. Tendencias genéticas

El cálculo de las tendencias genéticas, con base en la regresión de los valores genéticos predichos (o diferencias esperadas en la progenie) sobre los años de nacimiento de los animales, refleja los resultados de los esquemas de selección desarrollados por los criadores, a fin de evaluarlos y corregirlos, si los resultados lo sugieren.

En el Cuadro 3.11 se presentan estimaciones de tendencias genéticas para características de crecimiento en bovinos para carne. En lo que respecta al peso al nacimiento y al destete se observa que las tendencias genéticas fluctúan de 0.5 a 113.0 g/año y de -33.5 a 900 g/año, respectivamente.

En estudios realizados en un hato del trópico mexicano, evaluando el peso al destete en bovinos Suizo (Navarro, 1994) e Indobrasil (Castro, 1995) reportaron tendencias negativas en las diferencias esperadas en la progenie de alrededor del 0.01 y 0.02% con respecto a la media, respectivamente; indicando que la selección de reproductores implementada por estos productores no ha sido la adecuada. Por otra parte, Martínez-González *et al.* (2000) analizando los registros de 540 hatos pertenecientes a la Asociación Mexicana de Criadores de Cebú, estimaron tendencias genéticas para ganancia de peso por día de edad en bovinos Brahman, Indobrasil, Gyr y Nelore. Con base en los resultados presentados por estos autores, se calculó la tendencia para ganancia de peso al año de edad, observando que las estimaciones variaron 109.5 a 547.5 g/año (Cuadro 3.11); estos autores señalan que los esquemas de selección

Cuadro 3.11. Estimadores de tendencias genéticas para características de crecimiento en bovinos para carne

Genotipo	Caract. ^a	Ítem ^b	Tendencia		Autor (es)
			g/año	% ^c	
Suizo	PN	EPDD ^d	5.0		Navarro, 1994
Indobrasil	PN	EPDD ^d	0.5		Castro, 1995
Simmental	PN	EPDD ^{d, f}	54.0		Cunningham y Klei, 1995
Limousin	PN	EPDD ^d	24.5	0.06	Sullivan <i>et al.</i> , 1999
Hereford	PN	EPDD ^d	113.0	0.28	
Charolais	PN	EPDD ^d	65.0	0.15	
Simmental	PN	EPDD ^d	24.0	0.06	
Angus	PN	EPDD ^d	65.0	0.17	
Santa Gertrudis	PN	EPDD ^d	12.0	0.03	Ferraz <i>et al.</i> , 2000
Angus	PD	EPDD ^d	900.0	0.42	Zollinger y Nielsen, 1984
Suizo	PD	EPDD ^d	-20.0	-0.01	Navarro, 1994
Simmental	PD	EPDD ^{d, f}	451.5		Cunningham y Klei, 1995
Indobrasil	PD	EPDD ^d	-33.5	-0.02	Castro, 1995
Santa Gertrudis	PD	EPDD ^d	67.0	0.03	Ferraz <i>et al.</i> , 2000
Simmental	PD	EPDM ^{d, f}	-0.16		Cunningham y Klei, 1995
Gir	GPD	EPDD	68.8	0.04	Silva <i>et al.</i> , 1998
Guzerat	GPD	EPDD	64.8	0.03	
Indobrasil	GPD	EPDD	136.9	0.06	
Nelore	GPD	EPDD	250.1	0.11	
Tabapua	GPD	EPDD	103.9	0.05	
Limousin	GPD	EPDD ^d	415.0	0.20	Sullivan <i>et al.</i> , 1999
Hereford	GPD	EPDD ^d	635.0	0.32	
Charolais	GPD	EPDD ^d	410.0	0.17	
Simmental	GPD	EPDD ^d	360.0	0.15	
Angus	GPD	EPDD ^d	670.0	0.31	
Gir	GPD	EPDM	21.8	0.01	Silva <i>et al.</i> , 1998
Guzerat	GPD	EPDM	35.3	0.02	
Indobrasil	GPD	EPDM	23.4	0.01	
Nelore	GPD	EPDM	218.4	0.10	
Tabapua	GPD	EPDM	41.1	0.02	
Limousin	GPD	EPDM ^d	95.0		Sullivan <i>et al.</i> , 1999
Hereford	GPD	EPDM ^d	180.0		
Charolais	GPD	EPDM ^d	60.0		
Simmental	GPD	EPDM ^d	55.0		
Angus	GPD	EPDM ^d	120.0		

^a PN = Peso al nacimiento; P120 = Peso a los 120 días de edad; PD = Peso al destete; PA = Peso al año; P18M = Peso a los 18 meses; GPD = Ganancia de peso predestete; GDP = Ganancia de peso posdestete; GDA = Ganancia de peso del destete al año; GDE = Ganancia de peso por día de edad.

^b EPDD = Diferencia esperada en la progenie por efectos directos; EPDM = Diferencia esperada en la progenie por efectos maternos.

^c % = Tendencias expresadas como porcentaje de la media de la característica evaluada.

^d EPD calculado como ½ de las tendencias en valores genéticos.

^f Tendencia promedio de cuatro regiones de Estados Unidos.

Cuadro 3.11. Continuación

Genotipo	Caract. ^a	Item ^b	Tendencia		Autor
			g/año	% ^c	
Simmental	GDA	EPDD ^{d, f}	293.5		Cunningham y Klei, 1995
Limousin	GDA	EPDD ^d	865.0	0.63	Sullivan <i>et al.</i> , 1999
Hereford	GDA	EPDD ^d	1115.0	0.79	
Charolais	GDA	EPDD ^d	850.0	0.50	
Simmental	GDA	EPDD ^d	730.0	0.46	
Angus	GDA	EPDD ^d	1230.0	0.75	
Guzerat	GDP	EPDD	33.7	0.03	Silva <i>et al.</i> , 1998
Indobrasil	GDP	EPDD	129.9	0.09	
Nelore	GDP	EPDD	106.4	0.09	
Tabapua	GDP	EPDD	92.7	0.08	
Brahman	GNA ^e	EPDD ^d	255.5	0.08	Martínez-González <i>et al.</i> , 2000
Gyr	GNA ^e	EPDD ^d	401.5	0.15	
Indobrasil	GNA ^e	EPDD ^d	109.5	0.04	
Nelore	GNA ^e	EPDD ^d	547.5	0.18	
Santa Gertrudis	P120	EPDD ^d	62.0	0.01	Ferraz <i>et al.</i> , 2000
	PA	EPDD ^d	144.0	0.05	
	P18M	EPDD ^d	193.5	0.05	
Cebú	Peso final	EPDD	4700.0	1.90	Duarte, 2000

^a PN = Peso al nacimiento; P120 = Peso a los 120 días de edad; PD = Peso al destete; PA = Peso al año; P18M = Peso a los 18 meses; GPD = Ganancia de peso predestete; GDP = Ganancia de peso posdestete; GDA = Ganancia de peso del destete al año; GNA = Ganancia de peso del nacimiento al año de edad.

^b EPDD = Diferencia esperada en la progenie por efectos directos; EPDM = Diferencia esperada en la progenie por efectos maternos.

^c % = Tendencias expresadas como porcentaje de la media de la característica evaluada.

^d EPD calculado como ½ de las tendencias en valores genéticos.

^e Calculada a partir de la ganancia por día de edad por 365.

^f Tendencia promedio de cuatro regiones de Estados Unidos.

implementados por los productores mexicanos han sido adecuados. En otros estudios relacionados, Duarte (2000) evaluando los resultados obtenidos en un período de 13 años en pruebas de comportamiento con ganado Cebú reportó una tendencia genética para peso final de 4.7 kg/año (1.9% sobre la media), la cual es demasiado alta, si se compara con otros estimadores de la literatura. Por ejemplo, Smith (1984) revisó los resultados de cambios genéticos logrados a nivel experimental y en condiciones prácticas, y los valores más altos de tendencias genéticas presentadas a nivel experimental fueron de 0.7 y 1.1% con respecto a la media del peso al destete y al año de edad, respectivamente; en condiciones prácticas las tendencias fueron de 0.3% con respecto a la media del peso al año.

Silva *et al.* (1998) y Sullivan *et al.* (1999) evaluando el crecimiento predestete de varias razas de bovinos para carne, reportaron tendencias genéticas, para efectos directos y maternos que varían de 64.8 (Guzerat) a 670 g/año (Angus) y de 21.8 (Gir) a 218.4 g/año (Nelore), respectivamente; asimismo, considerando las tendencias genéticas de efectos directos como porcentajes de la media se observa un rango de variación que va desde el 0.03% en ganado Guzerat hasta el 0.32% en la raza Hereford.

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH

En lo que respecta al crecimiento posdestete, se observan tendencias (Cuadro 3.11) que oscilan de 33.7 (Guzerat) a 129.9 g/año (Indobrasil); y para la ganancia de peso del destete al año de edad, las tendencias genéticas fluctúan de 293.5 (Simmental) a 1230.0 g/año (Angus).

Cunningham y Klei (1995) estimaron las tendencias genéticas para peso al nacimiento (PN) y al destete (PD), y para ganancia de peso del destete al año (GDA) en ganado Simmental de cuatro regiones de los Estados Unidos. Las tendencias para PN y GDA variaron de 32 a 89.5 g/año y de 275 a 310 g/año, respectivamente. En lo que respecta al PD los resultados variaron de 425 a 465 g/año y de -225 a 135 g/año para efectos directos y maternos, respectivamente. Los resultados observados en el Cuadro 3.11 son los promedios calculados con base en las cuatro regiones evaluadas.

En el Cuadro 3.12 se presentan las tendencias genéticas estimadas con los promedios por año de las diferencias esperadas en la progenie reportadas por las asociaciones de criadores de los Estados Unidos de América en sus páginas de internet. Las tendencias genéticas estimadas para peso al nacimiento fluctuaron de 27.2 a 75.3 g/año; y para peso al destete variaron de 46.7 a 694.9 g/año en efectos genéticos directos, y de -45.4 a 271.7 g/año en efectos genéticos maternos. Con respecto al peso al año de edad las tendencias variaron de 51.7 a 1269 g/año.

Cuadro 3.12. Estimadores de tendencias genéticas^a (g/año) en las diferencias esperadas en la progenie para peso al nacimiento (PN), al destete con efectos genéticos directos (PD) y maternos (PDM), y al año (PA) de edad

	Período	PN	PD	PDM	PA	Referencia ^b
Angus	1972 - 2000	70.3	694.9	271.7	1269.2	www.angus.org
Brangus	1970 - 2002	35.4	314.3	5.9	539.3	www.int-brangus.org
Hereford	1967 - 2001	75.3	459.5	155.1	818.7	www.hereford.org
Limousin	1980 - 2001	29.9	46.7	23.1	51.7	www.nalf.org
Simbrah	1983 - 1995	63.9	410.5	-11.3	635.0	www.simmgene.com
Simmental	1983 - 1995	27.2	430.0	-45.4	707.6	www.simmgene.com

^a Calculadas a partir de los promedios de diferencias esperadas en la progenie por año, reportados en los resúmenes de evaluaciones genéticas de sementales.

^b Páginas accesadas entre el 12 y 14 de marzo del 2002.

3.2.6. Correlación entre valores genéticos predichos a través de varios modelos

Lee *et al.* (2000), con base en la comparación de nueve modelos para peso al año, a los 18 meses y al sacrificio en bovinos nativos de Corea, evaluaron el efecto de estos modelos en la jerarquización de sementales. Para ello, estimaron la correlación entre valores genéticos predichos del 20% de los mejores sementales ordenados con base en el modelo más completo (un modelo que consideraba los efectos aleatorios genéticos directos y maternos, más los efectos maternos de ambiente permanente y la interacción sementa-hato; así como los efectos fijos región x año—estación, edad de la vaca x sexo, y presencia de la identificación del semental) y los valores genéticos predichos del 20% de los mejores sementales ordenados con cada uno de los otros modelos. Para peso a los 18 meses y al sacrificio reportaron coeficientes de correlación de 0.99, indicando que el progreso genético sería similar al utilizar en los programas de selección de sementales, las predicciones de los valores genéticos con cualquiera de los modelos estudiados; sin embargo, para peso al año los coeficientes de correlación fueron menores (0.91 y 0.92), principalmente cuando el modelo no incluía los efectos maternos.

Por otra parte, Ferreira *et al.* (1999), evaluando características de crecimiento en bovinos Hereford compararon doce modelos partiendo de un modelo de semental sin relaciones de parentesco hasta un modelo animal considerando todas las relaciones genéticas aditivas; los coeficientes de correlación producto momento y de rangos entre los valores genéticos predichos que variaron

respectivamente de 0.76 a 0.93 y de 0.76 a 0.93 para peso al nacimiento, de 0.66 a 0.84 y de 0.61 a 0.82 para peso al destete, y de 0.52 a 0.85 y de 0.48 a 0.86 para peso al año de edad. Ellos concluyen que el mejoramiento genético sería menor si se utilizan en los programas de selección los valores genéticos predichos con un modelo de semental, en comparación con las predicciones a través de un modelo animal completo.

En otro estudio, Dodenhoff *et al.* (1999b) compararon seis modelos animales para la evaluación del peso al destete en ganado Angus, y estimaron los coeficientes de correlación producto-momento y de rango de los valores genéticos predichos a través del modelo animal completo y a través de los otros cinco modelos en donde se incluyeron además los efectos del peso al destete materno, los efectos de la abuela o la interacción semental x hato-año. Se observó que la adición de la interacción semental x hato-año resultó en menores coeficientes de correlación que la adición de los efectos del fenotipo materno (al incluir la covariable de peso al destete de la madre) o efectos genéticos y ambientales de abuela materna. Por lo anterior, recomiendan el uso del modelo animal completo, con la adición de la interacción semental x hato-año en la predicción de los valores genéticos.

LITERATURA CITADA

- American Angus Association. 2002. Angus genetic trend EPD by birth year. www.angus.org/sireeval/genetic.html (Revisada el 12 de marzo del 2002).
- American Simmental Association. 2002. Multiple – breed genetic evaluation, genetic and gametic trends. www.simmgene.com/mbedocu4.htm (Revisada el 12 de marzo del 2002).
- Arango, J., D. Plasse, O. Verde, H. Fossi, R. Hoogesteijn, P. Bastidas y R. Rodríguez. 1999. Producción de Brahman y sus cruces por absorción a Guzera y Nelore en sabana. 2. Pesos al nacer, destete y 18 meses. *Livest. Res. Rural Dev.* (11) 3.
- Ávila, M. C. 1984. Evaluación del comportamiento productivo hasta el destete de ocho genotipos de bovinos de carne en el sur de Veracruz. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México.
- Baker, R. L. 1980. The role of maternal effects on the efficiency of selection in beef cattle – A review. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 40:285-303.
- Bennett, G. L., and K. E. Gregory. 1996. Genetic (co)variances among birth weight, 200-day weight, and postweaning gain in composites and parental breeds of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 74:2598-2611.
- Berweger, B., M., J. Moll, and N. Künzi. 1999. Comparison of models to estimate maternal effects for weaning weight of Swiss Angus cattle fitting a sire x herd interaction as an additional random effect. *Livest. Prod. Sci.* 60:203-208.
- BIF. 1996. Guidelines for Uniform Beef Improvement Program (7th Ed). Beef Improvement Federation, Colby, KS. 161 p.
- Bourdon, R. M. 1997. Understanding Animal Breeding. Prentice Hall. U. S. A. 523 p.
- Cabrera, M. E., A del V Carnero, B. Lobo R. y R Gunski J. 2001. Efecto de la incorporación de la covarianza genética directa-materna en el análisis de características de crecimiento en la raza Nelore. *Livest. Res. Rural Dev.* 13(3).
- Cárdenas, I, D. Montón, R. Vitto, y J. Parra. 2001. Estimación de parámetros genéticos directos y maternos para el peso al nacer, peso al destete y a los 18 meses en un rebaño Brahman registrado. I. Índices de herencia. En: Memoria de la XVII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. La Habana, Cuba. pp 1972-1975.
- Castro, A. S. 1995. Predicción de valores genéticos para crecimiento predestete en ganado Indobrasil. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México.
- Cuevas, S. C. 1987. Índice de constancia para intervalo entre partos y peso al nacer en un hato cebuino en Yucatán. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México.

- Cundiff, L. V. 2000. Evaluación y utilización de razas de ganado bovino europeas y cebuinas para producción de carne. En: Memoria del Ciclo de Conferencias sobre Evaluación, Comercialización y Mejoramiento Genético. SAGAR. Tuxtla Gutiérrez, Chis., México. pp 44-60.
- 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.
- Dodenhoff, J., L. D. Van Vleck, S. D. Kachman, and R. M. Koch. 1998. Parameter estimates for direct, maternal, and grandmaternal genetic effects for birth weight and weaning weight in Hereford cattle. *J. Anim. Sci.* 76:2521-2527.
- Dodenhoff, J., L. D. Van Vleck, and D. E. Wilson. 1999a. Comparison of models to estimate genetic effects for weaning weight of Angus cattle. *J. Anim. Sci.* 77:3176-3184.
- Dodenhoff, J., L. D. Van Vleck, and K. E. Gregory. 1999b. Estimation of direct, maternal and grandmaternal effects for weaning weight in several breeds of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 77:840-845.
- Duarte, O. A. 2000. Tendencias genéticas y fenotípicas en pruebas de comportamiento en ganado Cebú. En: Memoria del Ciclo de Conferencias Sobre Evaluación, Comercialización y Mejoramiento Genético. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México. pp 165-170.
- Eler, J. P., L. D. Van Vleck, J. B. S. Ferrz, and R. B. Lobo. 1995. Estimation of variances due to direct and maternal effects for growth traits of Nelore cattle. *J. Anim. Sci.* 73:3253-3258.
- Elzo, M. A., R. L. Quaas, and E. J. Pollak. 1987. Effects of age of dam on weight traits in the Simmental population. *J. Anim. Sci.* 64:992-1001.
- Falconer, D. S., and T. F. C. Mackay. 1996. Introduction to Quantitative Genetics. 4th ed. Longman Group LTD. Essex, G. B. 464 p.
- Ferraz, J. B. S., J. P. Eler, and P. M. T. Ribeiro. 2000. Genetic study of Santa Gertrudis cattle in Brazil. *Livest. Res. Rural Develop.* 12(2).
- Ferraz, P. B. F., A. de Amorin R., L. O. Campos S., J. C. de Souza, and M. Mello de A. 2001. Alternative animal models to estimate heritabilities of and genetic correlation between direct and maternal effects for weaning weight of Tabapua cattle. En: Memorias de la XVII Reunión de ALPA. La Habana, Cuba. 20 – 23 noviembre del 2001. pp 1987-1991.
- 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.
- Galvao, de A. L. G., and K. Meyer. 2001. Estimates of direct and maternal genetic effects for weights from birth to 600 days of age in Nelore cattle. *J. Anim. Breed. Genet.* 118:83-92.
- Gianola, D. 2001. Los Métodos estadísticos en el mejoramiento genético. Universidad de Wisconsin – Madison. www.wisc.edu/animalsci/faculty/gianola (Revisada el 16 de noviembre del 2001).
- Gregory, K. E., and L. V. Cundiff. 1980. Crossbreeding in beef cattle: evaluation of systems. *J. Anim. Sci.* 51:1224-1242.

- Guerra, M. G. 2001. Índice de constancia y capacidad probable de producción para características de crecimiento en ganado Brangus. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Durango. México.
- Hafez, E. S. E. 1996. Reproducción e Inseminación Artificial en Animales. 6ª edición. Edit. McGraw Hill. 542 p.
- Henderson, C. R. 1984. Applications of Linear Models in Animal Breeding. University of Guelph. Guelph, Canada. 423 p.
- Hoogesteijn, R., D. Plasse, O. Verde y P. Bastidas. 1985. Factores genéticos y ambientales que influyen el crecimiento en un rebaño Cebú – Venezolano absorbido a Gir. ALPA Mem. 20:127-135.
- International Brangus Breeders Association. 2002. Genetic trend. www.int-brangus.org (Revisada el 14 de marzo del 2002).
- Kropf, W., A. Aragón, N. Künzi y W. Hagnauer. 1983. El sistema de doble propósito: Producción de leche y carne en Costa Rica. Rev. Mundial Zoot. 45:23-27.
- Lee, C., and E. J. Pollak. 1997. Relationship between sire x year interactions and direct-maternal genetic correlation for weaning weight in Simmental cattle. J. Anim. Sci. 75:68-75.
- Lee, C., C. P. Van Tassell, and E. J. Pollak. 1997. Estimation of genetic variance and covariance components for weaning weight in Simmental cattle. J. Anim. Sci. 75:325-330.
- Lee, J. W., S. B. Choi, Y. H. Jung, J. F. Keown, and L. D. Van Vleck. 2000. Parameter estimates for direct and maternal genetic effects on yearling, eighteen – month, and slaughter weights of Korean native cattle. J. Anim. Sci. 78:1414-1421.
- Lozano, R. R. D., M. A. Aspron P., E. González P. y C. Vásquez P. 1988. Factores ambientales que afectan el crecimiento hasta el destete de becerros Guzerat en un sistema de confinamiento. Téc. Pec. Méx. 26:54-58.
- Magaña, J. G. y J. C. Segura. 1998. Factores ambientales y genéticos que afectan el comportamiento predestete e intervalo entre partos del ganado *Bos indicus* en el sureste de México. Rev. Cubana Cienc. Agric. 32:327-343.
- Mallinckrodt, C. H., B. L. Golden, and R. M. Bourdon. 1995. The effect of selective reporting on estimates of weaning weight parameters in beef cattle. J. Anim. Sci. 73:1264-1270.
- Manzoni, N. O., E. Salomoni, J. J. Brazalle L., J. C. Ferrugem M., and L. O. Antunes D. 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.
- Martínez, G. G., J. Petrocinio y P. Herrera D. 1998. Factores que afectan el peso al destete en un rebaño de bovinos de carne. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 15:266-277.

- Martínez, G. J y S. P. Castillo R. 2000. Crecimiento de becerros Criollo Lechero bajo condiciones de pastoreo en trópico seco. En: Memoria del Ciclo de Conferencias Sobre Evaluación, Comercialización y Mejoramiento Genético. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México. pp: 128-133.
- Martínez-González, J. C., A. Tewolde-Medhin, A. González-Reyna, R. Núñez-Domínguez, F. Suárez-Vela, y S. D. Lukefahr. 2000. Tendencias fenotípicas y genéticas de características de producción en el ganado Cebú mexicano. En: Memoria del Ciclo de Conferencias Sobre Evaluación, Comercialización y Mejoramiento Genético. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México. pp 108-112.
- Meyer, K., K. Hammond, M. J. Mackinnon, and P. F. Parnell. 1991. Modelling direct and maternal effects for growth traits in beef cattle. In: Proceedings for Profit and Prophets for Genetics. 24th-27th June, Australia. pp 212-215.
- Meyer, K. 1992. Variance components due to direct and maternal effects for growth traits of Australian beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 31:179-204.
- Mood, A. M., F. A. Graybill, and D. C. Boes. 1974. Introduction to the Theory of Statistics. Third edition. Edit. McGraw Hill. U.S.A. 564 p.
- Navarro, R. J. 1994. Predicción de valores genéticos para crecimiento predestete en ganado Pardo Suizo en trópico húmedo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México.
- North American Hereford Cattle Evaluation. 2002. Genetic trend. www.hereford.org (Revisada el 12 de marzo del 2002).
- North American Limousin Foundation. 2002. Limousin international genetic trends. www.nalf.org/perform/sstrends.htm (Revisada el 14 de marzo del 2002).
- Osorio, M. A. 1998. Caracterización de los sistemas bovinos de doble propósito en el trópico. Observaciones sobre el comportamiento productivo de grupos raciales. En: memoria del Cuarto Foro de Análisis de los Recursos Genéticos: Ganadería Bovina de Doble Propósito. SAGAR. Villahermosa, Tab. México. pp 8-28.
- Plasse, D. 1978. Aspectos de crecimiento del *Bos indicus* en el trópico americano (Primera parte). *World Rev. Anim. Prod.* XIV:29-48.
- Plasse, D. 1979. Aspectos de crecimiento del *Bos indicus* en el trópico americano (Segunda parte). *World Rev. Anim. Prod.* XV:21-38.
- Plasse, D. y O. Verde S. 1980. Influencias genéticas y ambientales sobre la varianza de cuatro pesos en ganado Brahman. *ALPA Mem.* 15:41-49.
- Plasse, D. 1982. Registro del rendimiento del bovino de carne en la América Latina. *Rev. Mundial Zoot.* 41:11-19.
- Porte, F., E. Mansilla M., A. González V., y H. Coquelet M. 1985. Relaciones entre crecimiento y capacidad productiva posterior en hembras Hereford del rebaño de la Universidad de Chile. *ALPA Mem.* 18:164-165.
- Reynoso, O. C., M. Villarreal P. y C. Vásquez P. 1987. Análisis del crecimiento hasta el destete de animales *Bos taurus* x *Bos indicus* criados bajo condiciones tropicales de México. *Téc. Pec. Méx.* 25:271-279.

- Robinson, D. L. 1996. Estimation and interpretation of direct and maternal genetic parameters for weights of Australian Angus cattle. *Livest. Prod. Sci.* 45:1-11.
- Rojas, J. E. B., O. Reynoso C., J. Lagunes L. y C. Vásquez P. 1987. Comportamiento productivo del ganado Brahman e Indobrasil en clima subtropical húmedo. I. Comportamiento al destete. *Téc. Pec. Méx.* 25:281-288.
- Rodríguez, M., D. Guerra, T. Planas y F. Ramos. 2001. Factores que afectan el crecimiento predestete en ganado Santa Gertrudis. En: Memoria de la XVII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. La Habana, Cuba. pp 1820-1822.
- SAGAR. 1998. Situación actual y perspectivas de la producción de carne de bovino en México 1990 – 1998. Centro de Estadística Agropecuaria. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 64 p.
- SAGAR. 2000. Situación actual y perspectivas de la producción de leche de ganado bovino en México 1990 – 2000. Centro de Estadística Agropecuaria. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 84 p.
- Sanders, J. O. 2000. El ganado *Bos indicus* como un recurso genético para mejorar la eficiencia de producción de carne en los trópicos. Memoria. Ciclo de Conferencias sobre Evaluación, Comercialización y Mejoramiento Genético. SAGAR. Tuxtla Gutiérrez, Chis., México. pp 37-44.
- Segura, J. C. 1988. Factores no genéticos que afectan el comportamiento hasta el destete de un hato Gyr en México. *ALPA Mem.* 23:45-52.
- Segura, J. C., P. A. Velásquez M. y G. Medina P. 1988. Comportamiento hasta el destete de dos hatos Cebú comercial en el oriente de Yucatán. *Téc. Pec. Méx.* 26:16-23.
- Segura, J. C. y G. González G. 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* 2:243-252.
- Silva, L. O. C., K. Euclides F., G. R. Figueiredo, P. R. C. Nobre, and L. A. Josanhkian. 1998. Genetic trends in Zebu (*Bos indicus*) breeds in Brazil. 1998. In: Proceedings of the 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Armidale, Australia. 23:137-140.
- Smith, C. 1984. Rates of genetic change in farm livestock. *Res. Develop. Agric.* 1:79-85.
- Sullivan, P. G., J. W. Wilton, S. P. Miller, and L. R. Banks. 1999. Genetic trends and breed overlap derived from multiple-breed genetic evaluations of beef cattle for growth traits. *J. Anim. Sci.* 77:2019-2027.
- Stonaker, H. H. 1971. Animal breeding in the tropics of Latin America. *J. Anim. Sci.* 33:1-6.

- Torner, M. C., L. E. Pérez G., J. M. Berruecos V. y C. Vásquez P. 1984. Efectos medio ambientales que influyen en el peso al destete, al año y a los 18 meses. Estimación de heredabilidad para estas características en un hato Brahman comercial en el trópico mexicano. *Téc. Pec. Méx.* 46:58-64.
- Van Vlek, L. D., E. J. Pollak, and E. A. B. Oltenacu. 1987. *Genetics for the Animal Sciences*. W. H. Freeman and Company. U. S. A. 391 p.
- 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.
- Van Vleck, L. D., K. E. Gregory, and G. L. Bennett. 1996. Direct and maternal covariances by age of dam for weaning weight. *J. Anim. Sci.* 74:1801-1805.
- Vega, M. V., A. Ríos U. y M. Montaña B. 2000. Crecimiento y desarrollo de becerros Brahman, Indobrasil y cruza F1 *Bos taurus x Bos indicus*. En: Memoria del Ciclo de Conferencias Sobre Evaluación, Comercialización y Mejoramiento Genético. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México. pp 123-127.
- Waldron, D. F., C. A. Morris, R. L. Baker, and D. L. Johnson. 1993. Maternal effects for growth traits in beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 34:57-70.
- Willham, R. L. 1972. The role of maternal effects in animal breeding: III. Biometrical aspects of maternal effects in animals. *J. Anim. Sci.* 35:1288-1293.
- Wright, H. B., E. J. Pollak, and R. L. Quaas. 1987. Estimation of variance and covariance components to determine heritabilities and repeatability of weaning weight in american simmental cattle. *J. Anim. Sci.* 65:975-981.
- Zerlotti, M. M. E., R. Barbosa L., y A. de los Reyes B. 1995. Parámetros genéticos de crecimiento en cebuinos de carne. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 3(1):45-89.
- Zollinger, W. A., and M. K. Nielsen. 1984. An evaluation of bias in estimated breeding values for weaning weight in Angus beef cattle field records. I. Estimates of within herd genetic trend. *J. Anim. Sci.* 58:54-59.

**IV. INFLUENCIAS AMBIENTALES E ÍNDICE DE CONSTANCIA
PARA CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO EN GANADO
BOVINO TROPICARNE¹**

¹ Artículo enviado para su publicación en la revista Técnica Pecuaria en México.

RESUMEN

El objetivo fue evaluar algunos factores ambientales en la variación del peso al nacimiento (PN, $n=1523$), al destete ajustado a 240 días (PD, $n=1522$), al año (PA, $n=1523$) y a los 18 meses (P18M, $n=1142$), y de la ganancia de peso total del destete al año (GDA, $n=1522$) y del destete a los 18 meses (GD18M, $n=1141$) de edad, así como estimar el índice de constancia (r_e) para estas características en animales Tropicarne. Los modelos incluyeron el efecto aleatorio de vaca anidada dentro de rancho, los efectos fijos de sexo de la cría (S), año (A) y época (E) de nacimiento, rancho (R), las interacciones significativas ($P<0.05$), y las covariables edad de la vaca al parto (EV) y proporción de genes Tropicarne (PT), y PD para GDA y GD18M. Los análisis se realizaron utilizando el procedimiento MIXED de SAS. Los promedios para PN, PD, PA, P18M, GDA y GD18M fueron 35.2 ± 1.8 , 220.2 ± 19.4 , 263.3 ± 24.6 , 323.4 ± 29.3 , 42.7 ± 20.3 y 101.6 ± 27.8 kg, respectivamente. Los efectos de S, A y E fueron significativos ($P<0.05$), excepto E ($P>0.23$) para PD. El R sólo afectó ($P<0.05$) PD y P18M. Las vacas con edades intermedias tuvieron los mayores PN, PD y PA, pero las menores GD18M. Al aumentar la PT, los pesos de los animales fueron mayores. El r_e no fue diferente de cero ($P>0.05$) para PN, GDA y GD18M, pero sí para PD (0.15 ± 0.04), PA (0.13 ± 0.04) y P18M (0.16 ± 0.04). La evaluación genética de características de crecimiento en ganado Tropicarne debe corregir por los efectos significativos considerados en este estudio.

Palabras clave: Tropicarne, Bovino para Carne, Repetibilidad, Trópico, Crecimiento, Efectos Ambientales

ABSTRACT

The objectives were to evaluate several environmental factors on weights at birth (BW, n=1523), weaning adjusted to 240 d (WW, n=1522), adjusted to 365 d (YW, n=1523) and at 18-mo of age (W18M, n=1142), total weight gain from weaning to 365 d (GWY, n=1522) and from weaning to 18-mo (GW18M, n=1141); and to estimate the repeatability (r_e) of those traits in Tropicarne cattle. The models included the random effect of cow nested within herd, the fixed effects of sex (S), year (Y) and season (SB) of birth, herd (H), the significant interactions ($P<0.05$), and the covariates cow age (A) and proportion of Tropicarne genes (PT), and WW for GWY and GW18M. The analyses were conducted using the MIXED procedures from SAS. The means for BW, WW, YW, W18M, GWY and GW18M were 35.2 ± 1.8 , 220.2 ± 19.4 , 263.3 ± 24.6 , 323.4 ± 29.3 , 42.7 ± 20.3 and 101.6 ± 27.8 kg, respectively. The effects of S, Y and SB were significant ($P<0.05$), except SB ($P>0.23$) for WW. The H affected ($P<0.05$) only WW and W18M. Cow with intermediate ages had the heaviest BW, WW and YW, but the lightest GW18M. As PT increased the calf weights were heavier. The r_e was not different from zero ($P>0.05$) for BW, GWY and GW18M, but for WW, YW and W18M were 0.15 ± 0.04 , 0.13 ± 0.04 and 0.16 ± 0.04 , respectively. Genetic evaluations for growth traits in Tropicarne cattle must adjust for the significant effects considered in this study.

Key Words: Tropicarne, Beef Cattle, Repeatability, Tropic, Growth, Environmental Effects.

INTRODUCCIÓN

En México, los sistemas de producción bovina tropical se encuentran a lo largo de las costas del Golfo y el Pacífico, representando aproximadamente el 25% de la superficie nacional y aportando el 35% de la producción de carne del país; predominando en estas regiones las razas cebuinas y sus cruza con razas europeas (1).

La utilización de sistemas de cruzamiento entre razas por productores comerciales es una estrategia para incrementar la eficiencia en producción de bovinos para carne; sin embargo, cuando se trata de productores con hatos pequeños (menos de 30 vacas), que son la mayoría, la utilización de sistemas de cruzamiento convencionales (ejem: terminales o rotacionales) resulta ineficiente. La existencia de productores con hatos pequeños justifica el desarrollo de razas sintéticas, con el propósito de retener un porcentaje considerable de heterosis individual, materna y paterna, así como la combinación de las características deseables de las razas fundadoras (2).

Un grupo de ganaderos de la región tropical de México (del sur Tamaulipas y norte de Veracruz), diseñaron una serie de cruzamientos, involucrando varias razas bovinas, basando sus decisiones de selección en el comportamiento productivo y reproductivo de los animales, y en su capacidad para adaptarse a los sistemas de producción en regiones tropicales. Después de muchos años, desarrollaron la primer raza de ganado bovino mexicana, Tropicarne, especializada en producción de carne en condiciones tropicales, con una

composición racial aproximada de 63% Senepol, 23% Barzona, 9% Brahman y 5% Charolais. La Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Tropicarne obtuvo su registro por parte del gobierno federal en 1987, y en 1996 se les autorizó su Reglamento Técnico (3).

Para la identificación de criterios objetivos de selección en la raza Tropicarne, como son las estimaciones de valores genéticos, se requiere de la caracterización del ganado de acuerdo con las influencias no genéticas, para incluir su corrección en la metodología de evaluación genética. Los factores no genéticos, comúnmente llamados ambientales, incluyen las condiciones en las que se desarrolla el animal, como el hato, año y estación, edad o número de parto de la vaca, así como las inherentes al animal, como el sexo, la edad, estado fisiológico, etc. En los análisis estadísticos se incluyen también las interacciones entre factores genéticos y ambientales, como factores no genéticos (4, 5, 6).

Por otra parte, la estimación del índice de constancia puede utilizarse para predecir el comportamiento de las vacas en su siguiente parto, lo cual sirve como criterio para el desecho de vientres en el hato. Tanto el índice de constancia como los efectos ambientales que determinan la variación en las características de crecimiento de bovinos para carne, son diferentes en magnitud según la zona ecológica, el sistema de explotación y la población que se estudia (7).

Debido a que Tropicarne es una raza que no ha sido estudiada previamente, el objetivo del presente trabajo fue evaluar los efectos de algunos factores no genéticos que inciden en la variación del peso al nacimiento, al destete, al año y a los 18 meses de edad, y de la ganancia de peso total del destete al año y del destete a los 18 meses de edad en el ganado bovino Tropicarne, así como estimar el índice de constancia para estas características.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características de la información analizada

La información analizada es parte de la base de datos de la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Tropicarne, y en específico de dos ranchos de los criadores. Los ranchos se localizan en los municipios de Ozuluama y Tampico Alto, Ver., que son parte de la Huasteca Veracruzana, a 22° 07' latitud norte y 97° 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 (8).

La Asociación Tropicarne 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 Asociación, 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.

Los sistemas de producción son típicos de la regiones tropicales: alimentación con base en pastoreo (*Panicum maximun* y *Cynodon plectostachyus*, principalmente), dos épocas de empadre al año (con una asignación de 25 a 30 hembras por semental), con tendencia a concentrarse en los meses de julio y agosto, y febrero y marzo. El destete se realiza 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 realiza según incidencia, y rara vez se desparasita internamente. La selección de los animales para su inscripción en los libros de registro de la Asociación Tropicarne se lleva a cabo al año de edad, con base en el patrón racial señalado en el Reglamento Técnico de la Asociación (3). Las hembras seleccionadas se crían para reemplazo y los machos continúan evaluándose hasta los 18 meses para identificar prospectos a sementales, el resto se destina al sacrificio.

Las características analizadas fueron los pesos al nacimiento (PN, n=1523), al destete ajustado a 240 días (PD, n=1522), al año (PA, n=1523) y a los 18 meses (P18M, n=1143) de edad, así como la ganancia de peso total del destete al año (GDA, n=1522) y del destete a los 18 meses (GD18M, n=1141) de edad, de los animales nacidos de 1977 a 1998. Con el propósito de reducir el

desbalance en los datos e incrementar el número de observaciones por subclase, se agruparon los años 1977 a 1985 en una subclase; también se agruparon de 1996 a 1998 para PA y GDA, y para el caso de P18M y GD18M se agruparon los años 1989 y 1990 en una subclase, y de 1995 a 1998 en otra.

Análisis estadísticos

Los modelos estadísticos, después de eliminar las interacciones dobles y covariables no significativas ($P > 0.05$), fueron los siguientes:

- $PN_{ijklmn} = \mu + S_i + A_j + E_k + R_l + V_m(R_l) + (SxA)_{ij} + (Ax E)_{jk} + b_1(EV - \hat{\mu}_{EV}) + b_{11}(EV - \hat{\mu}_{EV})^2 + b_2(PT - \hat{\mu}_{PT}) + b_{22}(PT - \hat{\mu}_{PT})^2 + e_{ijklmn}$
- $PD_{ijklmn} = \mu + S_i + A_j + E_k + R_l + V_m(R_l) + (SxA)_{ij} + (Ax E)_{jk} + (SxE)_{ik} + (AxR)_{jl} + (ExR)_{kl} + b_1(EV - \hat{\mu}_{EV}) + b_{11}(EV - \hat{\mu}_{EV})^2 + b_2(PT - \hat{\mu}_{PT}) + b_{22}(PT - \hat{\mu}_{PT})^2 + e_{ijklmn}$
- $PA_{ijklmn} = \mu + S_i + A_j + E_k + R_l + V_m(R_l) + (SxA)_{ij} + (Ax E)_{jk} + b_1(EV - \hat{\mu}_{EV}) + b_{11}(EV - \hat{\mu}_{EV})^2 + b_2(PT - \hat{\mu}_{PT}) + e_{ijklmn}$
- $P18M_{ijklmn} = \mu + S_i + A_j + E_k + R_l + V_m(R_l) + (SxA)_{ij} + (Ax E)_{jk} + (AxR)_{jl} + b_2(PT - \hat{\mu}_{PT}) + b_{22}(PT - \hat{\mu}_{PT})^2 + b_2(PT - \hat{\mu}_{PT}) \times R_l + b_{22}(PT - \hat{\mu}_{PT})^2 \times R_l + e_{ijklmn}$
- GDA_{ijklmn} y $GD18M_{ijklmn} = \mu + S_i + A_j + E_k + R_l + V_m(R_l) + (SxA)_{ij} + (Ax E)_{jk} + b_1(EV - \hat{\mu}_{EV}) + b_{11}(EV - \hat{\mu}_{EV})^2 + b_3(PD - \hat{\mu}_{PD}) + e_{ijklmn}$

donde:

μ : Media general,

S_i : Efecto fijo del i – ésimo sexo de la cría, ($i = 1$ y 2),

A_j : Efecto fijo del j – ésimo año de nacimiento, ($j = 1, 2...13$),

E_k : Efecto fijo de la k – ésima época de nacimiento, ($k = 1, 2$ y 3),

R_l : Efecto fijo del l – ésimo rancho del criador, ($l = 1$ y 2),

$V_m(R_l)$: Efecto aleatorio de la m – ésima vaca anidada en el l – ésimo rancho, distribuido $NI(0, \sigma_v^2)$,

$(SxA)_{ij}$: Efecto fijo de la interacción entre el i – ésimo sexo de la cría y el j – ésimo año de nacimiento,

$(AxE)_{jk}$: Efecto fijo de la interacción entre el j – ésimo año de nacimiento y la k – ésima época de nacimiento,

$(SxE)_{ik}$: Efecto fijo de la interacción entre el i – ésimo sexo de la cría y la k – ésima época de nacimiento,

$(AxR)_{jl}$: Efecto fijo de la interacción entre el j – ésimo año de nacimiento y el l – ésimo rancho del criador,

$(ExR)_{kl}$: Efecto fijo de la interacción entre la k – ésima época de nacimiento y el l – ésimo rancho del criador,

EV : Edad de la vaca al parto (días) como covariable,

b_1, b_{11} : Coeficientes de regresión lineal y cuadrático asociados con la edad de la vaca al parto,

PT : Proporción de genes Tropicarne como covariable,

b_2, b_{22} : Coeficientes de regresión lineal y cuadrático asociados con la proporción de genes Tropicarne,

PD: Peso al destete como covariable,

b_3 : Coeficiente de regresión lineal asociado con el peso al destete,

μ : Media estimada de la respectiva covariable, y

e_{ijklmn} : Efecto residual distribuido NI $(0, \sigma_e^2)$.

Los análisis se realizaron utilizando el procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS (9). Para probar diferencias entre ranchos se utilizó como término de error el cuadrado medio de vaca dentro de rancho, mientras que para los demás efectos en el modelo se utilizó el cuadrado medio de residuales. Las comparaciones entre medias se realizaron con la prueba de Tukey.

Los componentes de varianza para vaca anidada dentro de rancho y residual se estimaron mediante el procedimiento de máxima verosimilitud restringida. Con estos componentes se estimó el índice de constancia o repetibilidad ($\hat{r}_e$) para las variables de respuesta, a través del cociente del componente de varianza de vaca anidada dentro de rancho sobre la varianza fenotípica. El error estándar aproximado del índice de constancia [$EE(\hat{r}_e)$] se calculó con la suposición de que tiene una distribución normal y que hay un número desigual de observaciones por vaca (10):

$$\hat{r}_e = \hat{\sigma}_v^2 / (\hat{\sigma}_v^2 + \hat{\sigma}_e^2)$$

donde:

$\hat{r}_e$ = estimador del índice de constancia o repetibilidad,

$\hat{\sigma}_v^2$ = estimador del componente de varianza de vaca anidada dentro de rancho, y

$\hat{\sigma}_e^2$ = estimador del componente de varianza residual.

$$EE(\hat{r}_e) = \{2 (m - 1) (1 - r_e)^2 [1 + (k - 1) r_e]^2\}^{1/2} / [k^2 (m - N) (N - 1)]$$

donde:

$$k = [1 / (N - 1)] [m - (M_k^2) / m],$$

m, es el número total de observaciones,

M_k , es el número de observaciones en la k-ésima vaca, y

N, es el número total de vacas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los promedios generales y desviaciones estándar para PN, PD, PA, P18M, GDA y GD18M fueron 35.2 ± 1.8 , 220.2 ± 19.4 , 263.3 ± 24.6 , 323.4 ± 29.3 , 42.7 ± 20.3 y 101.6 ± 27.8 kg, respectivamente.

El PN obtenido en el presente estudio es superior a la mayoría de los pesos al nacimiento reportados para animales Cebú y cruza con Cebú en condiciones tropicales (4, 5, 7). Cabe señalar que en la ganadería bovina es importante que los becerros nazcan con pesos intermedios, ya que generalmente tienen una mayor sobrevivencia posnatal y mejores tasas de crecimiento que los becerros con PN extremos. El peso al nacimiento alto está asociado con partos distócicos, afectando el crecimiento del becerro (4, 11), mientras que los becerros que nacen con peso bajo tienen una menor sobrevivencia posnatal (11).

El PD del presente estudio es superior al reportado por algunos autores en ganado Brahman bajo condiciones tropicales (5, 12). El PD es una característica importante en condiciones tropicales, ya que: a) refleja la ganancia predestete que ha tenido el becerro, lo que es importante ya que durante esta etapa generalmente se presenta la tasa de crecimiento más alta de la vida de los animales, logrando a los ocho meses de edad del 25 al 35% de su peso final, que comúnmente se alcanza de los tres años en adelante (11, 13); b) constituye un indicador de la eficiencia económica de las explotaciones, ya que en el sistema vaca–becerro involucra la venta del animal al destete (11);

y c) es una medida del potencial de crecimiento del becerro y de las cualidades de la madre (13, 14).

En la fase posdestete se puede evaluar el crecimiento por el promedio de la ganancia diaria hasta una cierta edad o durante un determinado lapso, o por un peso a una edad uniforme, y es el principal indicativo del potencial de crecimiento del animal. Los pesos observados en el presente trabajo a edades posteriores al destete son superiores a los reportados por diversos autores (4, 6, 12) en ganado Brahman en condiciones tropicales y alimentación con base en pastoreo.

El comportamiento del ganado Tropicarne, tanto pre como posdestete fue generalmente superior al del ganado Cebú o cruza con Cebú en el trópico, posiblemente debido al porcentaje de heterosis retenido (54.4%), producto del esquema de cruzamiento utilizado en su formación, y a diferencias en recursos forrajeros y en prácticas de manejo que comúnmente se presentan en el trópico.

Efectos no genéticos

En el Cuadro 4.1 se presentan los resultados del análisis de varianza para los efectos fijos incluidos en los modelos de las seis características analizadas.

Año de nacimiento. Todas las características estudiadas estuvieron influenciadas ($P < 0.01$) por el año de nacimiento, lo cual coincide con la mayoría

de los reportes en la literatura (5, 7, 12); además, en todos los casos se encontraron interacciones involucrando este efecto.

Las interacciones año por época de nacimiento ($P<0.01$) y año por sexo ($P<0.05$) influyeron en la variabilidad de todas las características estudiadas, indicando que las diferencias entre sexos o entre épocas, se modifican a través de los años.

La interacción de año por época de nacimiento de los becerros ha sido reportada en otros estudios en condiciones tropicales, para PN y PD de ganado Cebú comercial, cuando las épocas son definidas de manera similar al presente trabajo (15); para PN y PD definiendo sólo dos épocas de nacimiento, lluvias y secas (4); y para PN y PD en sistemas de producción donde las épocas de parto son de diciembre a marzo y de junio a septiembre (16).

La interacción entre sexo y año de nacimiento también ha sido reportada por otros autores (16) para PD, considerando varios genotipos cruzados (*Bos taurus* x *Bos indicus*); efecto que puede atribuirse a que la magnitud en las diferencias de peso, generalmente a favor de los machos, difiere a través de los años.

La interacción de año de nacimiento por rancho afectó ($P<0.04$) el comportamiento del PD y P18M, indicando que las diferencias entre ranchos varían a través de los años. Dada la naturaleza del efecto de año de

nacimiento, el cual incluye influencias de la temperatura, precipitación y otras que son impredecibles (7, 15, 17), y considerando el número de años en el estudio, se obtuvieron los efectos promedio de sexo, estación y rancho a través de los años, mismos que se presentan en el Cuadro 4.2.

Sexo de la cría. El sexo de la cría fue importante ($P<0.01$) para todas las características analizadas; los machos superaron a las hembras para PN, PA, P18M, GDA y GD18M en 4.9, 23.3, 38.3, 99.7 y 108.4%, respectivamente (Cuadro 4.2). La superioridad de los machos respecto a las hembras para PN está dentro de los valores reportados por otros autores (5, 7, 18), variando de 2.3 a 5.7%. Los porcentajes de superioridad de los machos con respecto a las hembras para diversos pesos posdestete, son superiores a los publicados por otros autores (6, 12, 19) en animales alimentados principalmente con base en pastoreo, cuyos valores oscilan entre 10 y 30%. La gran superioridad en comportamiento de los machos sobre las hembras, principalmente después del destete, refleja posiblemente, además del mayor potencial de crecimiento de los machos, el efecto del manejo diferencial de machos y hembras, y la mayor presión de selección en los machos prospectos a sementales en comparación con las hembras.

El PD fue influenciado ($P<0.03$) por la interacción sexo con época de nacimiento. Esta interacción puede deberse a que los machos que nacieron en la época de secas, debido a su mayor potencial de crecimiento, aprovecharon mejor que las hembras la mayor disponibilidad de forraje durante las lluvias y

nortes, logrando mayores (31.1 kg) PD; mientras que los nacidos en las lluvias fueron más estresados en la época de menor disponibilidad de forraje, reduciéndose su superioridad (15.0 kg) sobre las hembras (Figura 1). Un efecto similar se mencionó en otro estudio (15), quienes evaluando el crecimiento del ganado Cebú comercial en dos hatos, y con épocas definidas como nortes, seca y lluvias; observaron la interacción de sexo con época de nacimiento en uno de los hatos. Asimismo, en sistemas de producción con estación de partos de agosto a noviembre se observó la interacción entre sexo y mes de nacimiento (19).

Época de nacimiento. La época de nacimiento afectó ($P<0.01$) todas las características estudiadas, con excepción de PD. En la ganadería tropical la oferta de nutrientes a través del año es muy variable, ya sea por la escasez de pastura durante la época seca, por el grado de estrés provocado en la época de nortes, o por la concentración de humedad y temperatura durante la época de lluvias, por lo que el crecimiento del animal depende de la época climática en que nace. Por ejemplo, si el animal nace al final de la época seca o inicio de la temporada de lluvias, su crecimiento durante la lactancia es, por lo general, favorecido por el crecimiento temprano del pasto en el pico de la lactación de su madre, y por la oferta de pasto de buena calidad cuando el becerro comienza a consumir forraje (5, 17, 19); sin embargo, en el presente estudio este comportamiento fue diferente entre sexos para PD.

La interacción época de nacimiento con rancho fue un factor importante ($P<0.05$) en la variación del PD, indicando que el PD producto de las diferencias en disponibilidad de alimento y estrés ambiental, que ocurren entre épocas, principalmente entre secas y lluvias, tuvo un comportamiento diferencial de un rancho a otro (Figura 2). Con respecto a esta interacción hay autores (15), que indican que los factores climáticos no son los componentes más importantes de las diferencias en peso entre hatos, sino que diferencias en las prácticas de manejo implementadas durante ciertas épocas del año, repercuten sobre la magnitud de los efectos de época; por ejemplo la suplementación o la carga animal en la pradera.

En el Cuadro 4.2 se observa que el menor PA ($P<0.05$) fue para los animales nacidos en la época seca, lo que puede atribuirse a que estos animales tuvieron su crecimiento predestete durante las épocas de lluvias y nortes, sin embargo, su crecimiento del destete al año de edad fue en la época más crítica del año, afectando negativamente la GDA. Por otra parte, el mayor P18M ($P<0.01$) y la mayor GD18M ($P<0.05$) fue para los animales nacidos en la época de seca, ya que su crecimiento del año a los 18 meses estuvo favorecido por la mayor disponibilidad de nutrientes en la época de lluvias, afectando positivamente la GD18M.

La definición de la época de nacimiento para los análisis de factores ambientales está en función de las características de la región. Algunos autores en los análisis estadísticos consideran el mes de nacimiento (12, 18) o grupos

de meses definidos por las épocas de empadre (6, 19). En condiciones de clima tropical subhúmedo, la definición de las épocas está de acuerdo con la distribución de las lluvias: cuando la distribución de las lluvias es de mayo a octubre (4), consideran dos épocas (seca y lluvias); y cuando la mayor precipitación es en verano (agosto a octubre) y tienen la influencia de la temporada de nortes, consideran tres (15) o cuatro épocas al año (17).

Rancho. El efecto de rancho sólo fue importante para PD ($P < 0.01$) y P18M ($P < 0.05$). El PD de los becerros en el rancho 2 superó ($P < 0.01$) en 8.5 kg al de los becerros en el rancho 1, diferencia que posiblemente involucra variaciones en manejo y recursos forrajeros (15, 18).

Las interacciones entre rancho y la covariable (lineal y cuadrática) proporción de genes Tropicarne afectaron ($P < 0.04$) la variación de peso a los 18 meses de edad, indicando que el comportamiento del P18M de acuerdo con la proporción de genes Tropicarne, es diferente entre ranchos. Esto puede interpretarse como una interacción genotipo por ambiente.

Edad de la vaca. La edad de la vaca al parto varió de 1.6 a 15.1 años, afectando en su función lineal ($P < 0.01$) y cuadrática ($P < 0.02$) la variación de todas las características estudiadas, con excepción del P18M y la GDA. Con relación al PN, PD y PA, estos resultados son similares a los publicados en la literatura (18, 19, 20), donde los mayores pesos se observan en aquellos becerros con madres de edades intermedias y los menores pesos los registran

aquellos becerros con madres de edades avanzadas o muy jóvenes. Asimismo, algunos autores (5, 6, 17) consideraron el efecto de número de parto de la madre sobre el crecimiento de la cría, observando una influencia similar a la de edad de la vaca.

Para PN, los becerros más pesados (36.1 kg) fueron paridos por vacas de 9.8 años de edad, y los más livianos por vacas muy jóvenes (Figura 3a). Estos resultados son similares a los reportados en la literatura, donde los becerros con menores PN fueron producidos por las vacas más jóvenes (7, 18) o de primer parto (4, 17), lo que atribuyen principalmente, a que las vacas jóvenes aún no han completado su desarrollo corporal, limitando el desarrollo del becerro durante la gestación.

Con relación al PD, los mayores pesos (236.6 kg) se observaron en becerros provenientes de vacas de 8.0 años de edad (Figura 3b) y los menores en becerros provenientes de vacas de edad avanzada, con diferencias de 27.9 kg. El efecto materno sobre el PD, varía con la edad de la vaca y está determinado por la capacidad de la vaca para producción de leche y para proporcionar un ambiente materno adecuado a sus crías (14, 21). El efecto de edad de la vaca al parto ha explicado el 25% de la variación del PD (13). De acuerdo con los resultados en el presente trabajo el efecto de edad de la vaca explicó 8.2% de la variación del PD. Otros autores (11, 18, 20) también han observado los mayores pesos al destete en vacas con edades intermedias, y los menores en becerros provenientes de vacas con edades avanzadas, lo cual atribuyen al

deterioro fisiológico, mismo que no le permite proporcionarle al becerro un ambiente adecuado para su buen desarrollo.

Con relación al PA, el mayor comportamiento (287.0 kg) se presentó en becerros producidos por madres de 8.6 años de edad (Figura 3c). Generalmente se ha observado que el mayor efecto materno se manifiesta hasta el destete, sin embargo, cuando las condiciones posdestete son desfavorables, este efecto se mantiene como efecto residual (14, 19, 20) tal como ocurrió en el presente estudio. Otras investigaciones (14, 21) utilizando la metodología de los modelos mixtos, han demostrado la importancia de los efectos maternos aún en el crecimiento posdestete, como es el caso del peso al año y peso final en bovinos para carne de las razas Angus, Hereford y Cebú. Al incluir en los modelos estadísticos los efectos maternos (genéticos y de ambiente permanente) como aleatorios, determinaron que los modelos que mejor se ajustaban para explicar la variación de los datos, eran aquellos que contenían los efectos maternos; posteriormente, al obtener los respectivos componentes de varianza, éstos llegaron a explicar hasta el 7, 16 y 17% de la variación total del peso al año de edad, en las razas Angus, Hereford y Cebú, respectivamente. Con respecto al peso final, los efectos maternos únicamente fueron importantes para el ganado Hereford y Cebú, explicando el 11.5 y 6% de la variación total, respectivamente.

El efecto de la edad de la madre sobre la ganancia de peso posdestete fue significativo ($P<0.01$) únicamente para GD18M. El comportamiento de la

GD18M con respecto a la edad de la vaca fue curvilíneo, pero opuesto al observado en PN, PD y PA (Figura 3d), ya que las menores ganancias de peso (130.9 kg) se observaron en becerros con madres de edad intermedia (7.7 años), y las mayores ganancias de peso se observaron en becerros con madres de edades avanzadas (148.7 kg) o muy jóvenes (142.7 kg). La ganancia de peso posdestete está definida por la habilidad propia del becerro, y si se observan efectos maternos en ese período son atribuidos a efectos residuales del ambiente materno proporcionado al becerro durante la gestación y el período predestete (14, 21, 22).

De acuerdo con las Figuras 3b y 3d se observa que los becerros provenientes de vacas con edades intermedias tuvieron mayor peso al destete, debido a un mejor ambiente materno, pero su ganancia posdestete fue la más baja; por el contrario, los becerros hijos de vacas jóvenes o viejas fueron los más livianos al destete, pero mostraron una mayor ganancia postdestete, lo que podría ser explicado como un mecanismo de crecimiento compensatorio.

Proporción de genes *Tropicarne*. La covariable proporción de genes *Tropicarne* en su función lineal y cuadrática, influyó la variación del PN ($P<0.01$) y PD ($P<0.03$), mientras que el PA sólo fue afectado ($P<0.01$) por el efecto lineal. El mayor PN se observó en los animales con 90.5% de genes *Tropicarne*, mientras que el PD de becerros con más de dos terceras partes de genes *Tropicarne* siguió una tendencia ascendente (Figura 4). Por otra parte, al incrementarse la proporción de genes *Tropicarne* en una unidad porcentual, el

PA se incrementó en 0.23 kg. Las diferencias en la proporción de genes Tropicarne entre los animales, involucran variación en los efectos genéticos de la raza Tropicarne y de la raza de las vacas fundadoras, por lo que los diferentes efectos no genéticos estudiados están ajustados por esta fuente de variación.

Peso al destete. Con el objetivo de ajustar el comportamiento de las ganancias posdestete a un PD promedio, se evaluó el efecto lineal y cuadrático de la covariable PD, resultando importante ($P<0.01$) el efecto lineal para GDA y GD18M, donde por cada kilogramo de incremento en PD se redujo la GDA en 197 g y la GD18M en 284 g.

Estimación del índice de constancia

En virtud de que en el presente estudio se utilizó un modelo mixto involucrando el efecto aleatorio de la vaca, se estimaron los componentes de varianza de vaca y residual, lo que permitió estimar el índice de constancia o repetibilidad, para las variables de crecimiento (Cuadro 4.3). Los estimadores del índice de constancia para PN, GDA y GD18M no fueron estadísticamente ($P>0.05$) diferentes de cero; sin embargo, los estimadores para PD (0.15), PA (0.13) y P18M (0.16), aunque bajos, indican la posibilidad de utilizarlos en el cálculo de capacidades probables de producción, con el propósito de identificar los vientres a desechar anualmente. Estimaciones del índice de constancia de magnitud mayor han sido reportadas en la literatura. En un estudio similar (12) con ganado Brahman, donde evaluaron la influencia de ciertos factores

ambientales sobre la varianza de cuatro pesos a diferentes edades, e incluyeron el efecto de la vaca en el modelo de peso al destete, reportaron un valor de índice de constancia para esta característica de 0.29. Por otra parte, en otro estudio realizado con ganado Brahman (23), reportaron valores de índice de constancia de 0.23, 0.26 y 0.24 para PN, PD y P18M, respectivamente. Los valores de índice de constancia para pesos posdestete, se pueden atribuir a diferencias entre las vacas con respecto al ambiente materno proporcionado durante los primeros meses de vida del becerro, que influye de manera residual sobre los pesos al año y a los 18 meses de edad de los becerros.

DISCUSIÓN GENERAL

La raza Tropicarne fue desarrollada como una alternativa para utilizarse en sistemas de producción de carne en condiciones tropicales. Los pesos del ganado Tropicarne a diferentes edades fueron superiores a los reportados en la literatura en sistemas de producción en regiones tropicales, y teniendo como base genética el *Bos indicus* (5, 11, 12). Lo anterior posiblemente se deba parcialmente a que el ganado Tropicarne retiene aproximadamente 54% de heterosis, ya que involucra cuatro razas en su formación, y a que combina las características de cada una de las razas fundadoras, además de que los datos de comportamiento analizados corresponden a los animales que superaron los estándares establecidos por la Asociación de Criadores para ser incluidos en los libros de registro; aunque las variaciones en recursos forrajeros y en prácticas de manejo que comúnmente se presentan en el trópico, también pueden ser causa de la superioridad observada en los animales Tropicarne.

Aunque el crecimiento de los bovinos puede incrementarse mediante la utilización de sistemas regulares de cruzamiento entre razas, como son los rotacionales, terminales o rotacionales–terminales, aprovechando generalmente un alto porcentaje de heterosis; estos sistemas requieren mayor organización e infraestructura; por ejemplo, requieren de varios potreros para el empadre, mantenimiento de sementales (y de vientres en algunos sistemas) de dos o mas razas puras, identificación de la generación y edad de los animales, y en algunos sistemas un tamaño mínimo del hato que haga rentable la inversión en infraestructura y controles de los animales. Por el contrario, las razas sintéticas no requieren de la infraestructura y controles descritos previamente, permitiendo a productores con hatos pequeños tener animales eficientes que aprovechan parte de las ventajas de los sistemas de cruzamiento convencionales.

En general, sexo, año y época de nacimiento, rancho y edad de la vaca al parto son los principales factores ambientales que inciden sobre la variación de las características de crecimiento del ganado bovino Tropicarne, coincidiendo estos resultados con los reportes de la literatura en otras razas de bovinos para carne (11, 16 18). La identificación de estas fuentes de variación tienen importantes aplicaciones en los sistemas de producción bovina, tales como: la elaboración de los programas de alimentación y manejo (19); el desarrollo de factores de ajustes para estos efectos (7); y su consideración en la formación de grupos contemporáneos con el propósito de incluirlos en los modelos de evaluaciones genéticas y obtener resultados corregidos por estos efectos (18).

CONCLUSIONES

En los modelos para la evaluación genética de los pesos al nacimiento, al destete ajustado a 240 días, al año y a los 18 meses del ganado Tropicarne se deben considerar los efectos de sexo de la cría, año y época de nacimiento, rancho y las interacciones entre éstos, además de edad de la vaca y proporción de genes Tropicarne, con el propósito de corregir por estas fuentes de variación. Adicionalmente, para las ganancias posdestete se debe considerar la covariable peso al destete.

Los estimadores del índice de constancia para peso al destete, al año y a los 18 meses, pueden utilizarse en el cálculo de capacidades de producción probable de la vacas, con el propósito de identificar los vientres de desecho.

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.

LITERATURA CITADA

1. SAGAR. Situación actual y perspectivas de la producción de carne de bovino en México 1990 – 1998. Centro de Estadística Agropecuaria. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. México, D.F. 1998.
2. Cundiff VL. Evaluación de razas de ganado bovino europeas y cebuinas para producción de carne. En: Memoria del Ciclo de Conferencias sobre Evaluación, Comercialización y Mejoramiento Genético. SAGAR. Tuxtla Gutiérrez, Chis., 2000:44 – 60.
3. SAGAR. Reglamento Técnico de la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Tropicarne. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. México, D.F; 1996.
4. Segura CJC. Factores no genéticos que afectan el comportamiento hasta el destete en un hato Gyr en México. ALPA Mem 1988;(15):45 – 52.
5. Segura CJ, González GG. 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 1992;2(3):243 – 252.
6. Torner CM, Pérez GSLE, Berruecos VJM, Vázquez PCG. Efectos medio ambientales que influyen en el peso al destete, al año y a los 18 meses. Estimación de heredabilidad para estas características en un hato Brahman comercial en el trópico mexicano. Téc Pecu Méx 1984; 46:58 – 64.
7. Rojas BJE, Reynoso CO, Lagunes LJ, Vazquez PCG. Comportamiento productivo del ganado Brahman e Indobrasil en clima subtropical húmedo. I. Comportamiento al destete. Téc Pecu Méx 1987;25(3):281 –288.

8. Maderey LER, Cruz NF, Godínez CL. Relación entre los fenómenos acuosos y los elementos térmicos del clima en México. *Agrociencia* 2001;35(1):23 – 40.
9. SAS. SAS/STAT User's Guide (Release 6.03). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 1988.
10. Becker AW. Manual of quantitative genetics. 4th ed. Pullman, Washington, USA: Academic Enterprises; 1984.
11. Hoogesteijn R, Plasse D, Verde O, Bastidas P. Factores genéticos y ambientales que influyen el crecimiento en un rebaño Cebú – Venezolano absorbido a Gir. *ALPA Mem* 1985;20:127 – 135.
12. Plasse D, Verde SO. Influencias genéticas y ambientales sobre la variancia de cuatro pesos en ganado Brahman. *ALPA Mem* 1980;(15):41 – 49.
13. Martínez GG, Petrocinio J, Herrera DP. Factores que afectan el peso al destete en un rebaño de bovinos de carne. *Rev Fac Agron (LUZ)* 1998;15:266 – 277.
14. Meyer K, Hammond K, Mackinnon MJ, Parnell PF. Modelling direct and maternal effects for growth traits in beef cattle. In: *Proceedings of the Ninth Conference. Genetics for Profit and Prophets for Genetics*. Victoria, Australia. 1991:212 – 215.
15. Segura CJC, Velazquez MPA, Medina PG. Comportamiento hasta el destete de dos hatos Cebú comercial en el oriente de Yucatán. *Téc Pecu Méx* 1988;26(1):16 – 23.

16. Reynoso CO, Villarreal PM, Vásquez PC. Análisis del crecimiento hasta el destete de animales *Bos taurus* x *Bos indicus* criados bajo condiciones tropicales de México. *Téc Pecu Méx* 1987;25(3):271 – 279.
17. Magaña JG, Segura JC. Factores ambientales y genéticos que afectan el comportamiento predestete e intervalo entre partos del ganado *Bos indicus* en el sureste de México. *Rev Cubana Cienc Agric* 1998;32:337 – 343.
18. Rodríguez M, Guerra D, Planas T, Ramos F. Factores que afectan el crecimiento predestete en ganado Santa Gertrudis. En: Memoria de la XVII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. La Habana, Cuba. 2001:1820 – 1822.
19. Manzoni ON, Salomoni E, Brazalle LJJ, Ferrugem MJC, Antunes DLO. 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* 1998;6(2):173 – 188.
20. Arango J, Plasse D, Verde O, Fossi H, Hoogesteijn R, Bastidas P, Rodríguez. R. Producción de Brahman y sus cruces por absorción a Guzera y Nelore en sabana. 2. Pesos al nacer, destete y 18 meses. *Livest Res Rural Dev* 1999;11(3):1 – 9.
21. Meyer K. Variance components due to direct and maternal effects for growth traits of Australian beef cattle. *Livest Prod Sci* 1992; 31:179 – 204.
22. Elzo MA, Quaas RL, Pollak EJ. Effects of age of dam on weight traits in the Simmental population. *J Anim Sci* 1987;64(4):992 – 1001.

23. Cárdenas I, Montón D, Vitto R, Parra J. Estimación de parámetros genéticos directos y maternos para el peso al nacer, peso al destete y a los 18 meses en un rebaño Brahman registrado. I. Índices de herencia. En: Memoria de la XVII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. La Habana, Cuba. 2001:1972 – 1975.

Cuadro 4.1. Nivel de significancia (Probabilidad) de los efectos fijos en los análisis de varianza para pesos al nacimiento (PN), al destete (PD), al año (PA) y a los 18 meses (P18M), y para ganancias de peso del destete al año (GDA) y del destete a los 18 meses (GD18M) en ganado Tropicarne

Fuente de variación	PN	PD	PA	P18M	GDA	GD18M
Sexo (S)	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
Año de nacimiento (A)	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
Época de nacimiento (E)	.0074	.2396	.0001	.0001	.0001	.0001
Rancho (R)	.2912	.0072	.0907	.0486	.6024	.1098
Prop. de Trop ¹ . lineal (PTL)	.0001	.0220	.0038	.0549		
Prop. de Trop. cuadrático (PTC)	.0001	.0101		.0502		
Edad de la vaca, lineal	.0004	.0001	.0001		.0720	.0024
Edad de la vaca, cuadrático	.0131	.0001	.0020		.0641	.0072
Peso al destete, lineal					.0001	.0001
S x A	.0470	.0003	.0001	.0001	.0002	.0001
S x E		.0201				
A x E	.0028	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
A x R		.0119		.0319		
E x R		.0105				
PTL x R				.0353		
PTC x R				.0270		

¹ Prop. de Trop. = Proporción de genes Tropicarne

Cuadro 4.2. Medias de mínimos cuadrados y errores estándar (kg) para pesos al nacimiento (PN), al año (PA) y a los 18 meses (P18M), y para ganancias de peso del destete al año (GDA) y del destete a los 18 meses (GD18M), de acuerdo con la época de nacimiento y el sexo en ganado Tropicarne

Item	PN	PA	P18M	GDA	GD18M
Nortes	35.4±0.1 ^b	284.9±1.6 ^b	352.3±5.3 ^b	55.5±1.3 ^a	130.1±2.3 ^a
Secas	35.8±0.1 ^a	276.6±1.6 ^a	364.0±5.3 ^a	48.5±1.3 ^b	142.9±2.3 ^b
Lluvias	35.8±0.3 ^a	285.3±4.3 ^b	357.8±8.5 ^b	59.5±3.4 ^a	130.1±6.7 ^a
Machos	36.5±0.2 ^a	311.5±2.5 ^a	415.2±6.1 ^a	72.7±2.0 ^a	181.6±3.6 ^a
Hembras	34.8±0.1 ^b	253.2±1.9 ^b	300.9±5.3 ^b	36.4±1.5 ^b	87.1±2.8 ^b

a, b. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre épocas o sexos.

Cuadro 4.3. Estimadores de componentes de varianza y del índice de constancia (r_e) para las características analizadas

Característica	Componentes de varianza (kg) ²		r_e
	Vaca/Rancho	Residual	
Peso al nacimiento	0.04	3.32	0.01±0.04
Peso al destete	67.60	376.37	0.15±0.04
Peso al año	88.36	604.62	0.13±0.04
Peso a los 18 meses	167.09	858.27	0.16±0.04
Ganancia de peso del destete al año	15.69	388.90	0.04±0.04
Ganancia de peso del destete a los 18 meses	79.76	714.31	0.10±0.04

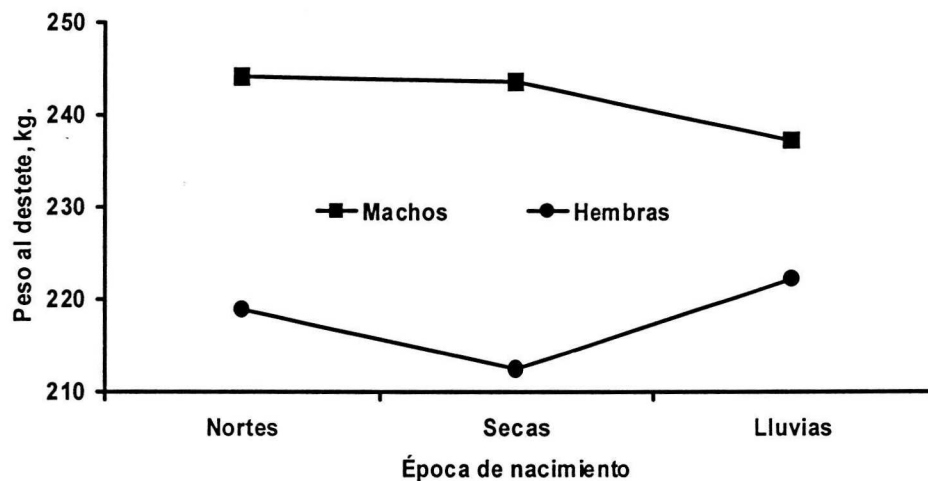


Figura 4.1. Interacción entre sexo y época de nacimiento para peso al destete en ganado Tropicarne

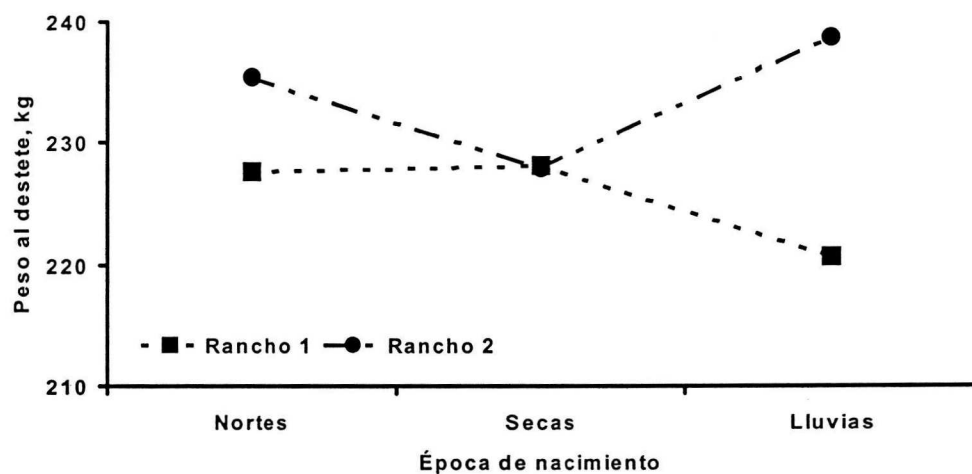


Figura 4.2. Interacción entre rancho y época de nacimiento para peso al destete en ganado Tropicarne

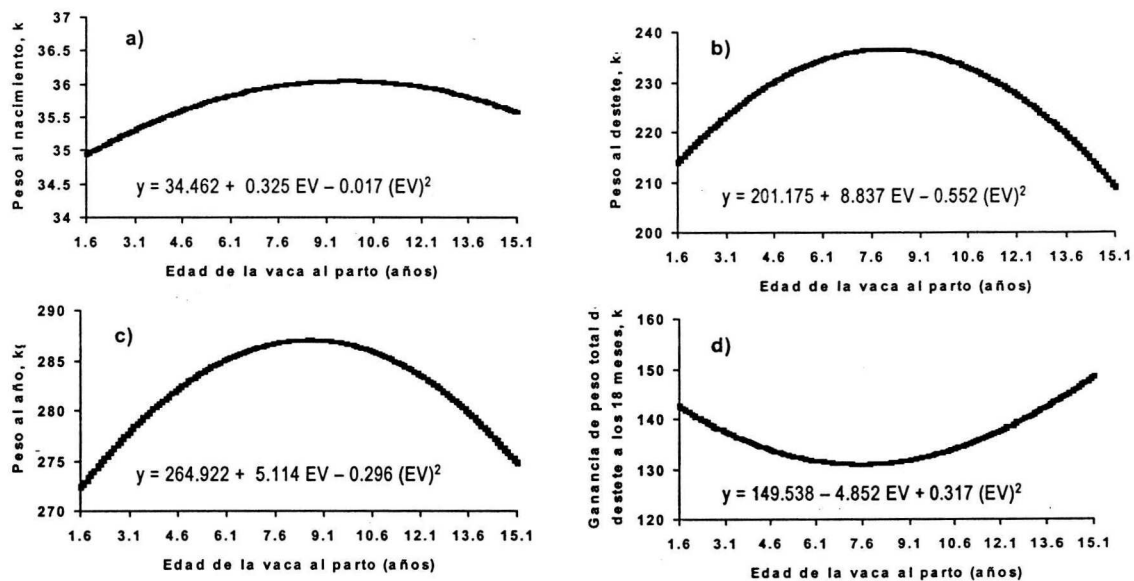


Figura 4.3. Comportamiento del peso al nacimiento (a), al destete (b) y al año de edad (c), y de la ganancia de peso total del destete a los 18 meses (d) con respecto a la covariable edad de la vaca al parto en ganado Tropicarne

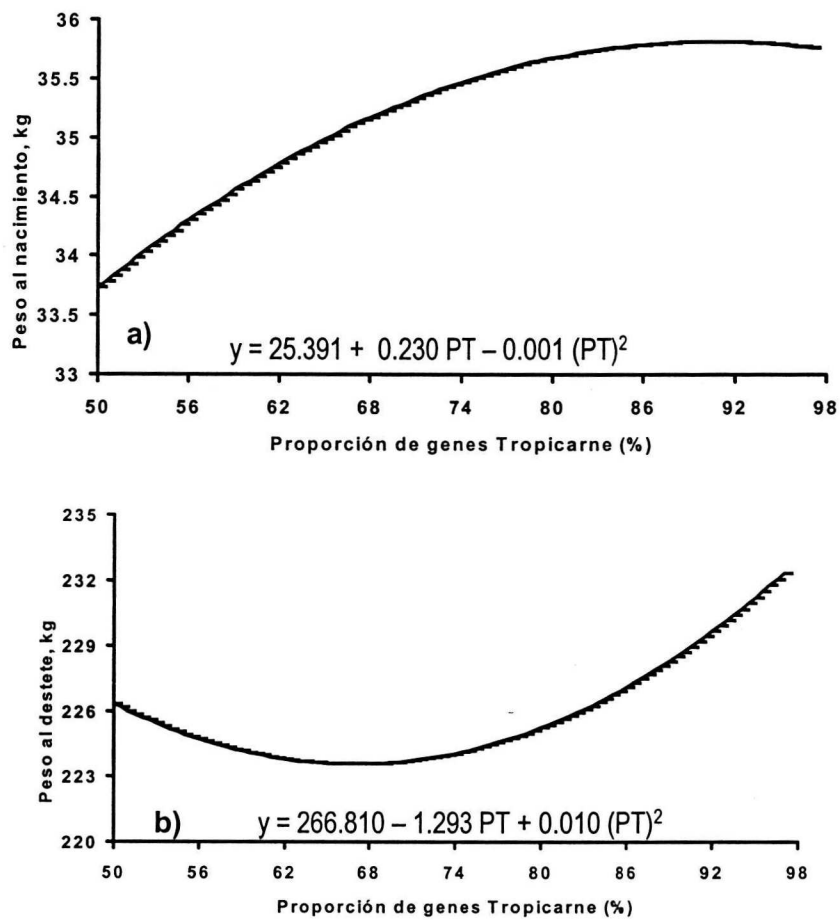


Figura 4.4. Comportamiento del peso al nacimiento (a) y al destete (b) con respecto a la covariable proporción de genes Tropicarne

**V. COMPARACIÓN DE MODELOS PARA LA EVALUACIÓN
GENÉTICA DE CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO EN
BOVINOS TROPICARNE¹**

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

RESUMEN

Los objetivos fueron estimar parámetros genéticos, determinar el mejor modelo de predicción, y estimar las tendencias genéticas de bovinos Tropicarne para pesos al nacimiento (PN, n=1523), al destete (PD, n=1522), al año (PA, n=1523) y a los 18 meses (P18M, n=1142), así como la ganancia de peso total del destete al año (GDA, n=1522) y del destete a los 18 meses (GD18M, n=1141) de edad. Los datos analizados consideran animales nacidos de 1977 a 1998, y el pedigrí final incluyó 1895 animales. Se utilizó un modelo univariado con los efectos fijos de rancho-año-estación-sexo, y las covariables edad de la vaca, proporción de genes Tropicarne, y PD para GDA y GD18M; y como aleatorios los efectos genéticos directos y maternos, y ambiente permanente de la vaca. La comparación de modelos se realizó con la prueba de proporción de verosimilitudes. Las heredabilidades directa y materna para PN, PD y PA fueron 0.12 y 0.10, 0.08 y 0.14, y 0.17 y 0.11; y directa para P18M, GDA y GD18M fueron 0.28, 0.10 y 0.18, respectivamente. La correlación entre efectos genéticos directos y maternos para PN fue -0.97. Los valores genéticos directos y maternos variaron de -1.07 a 0.83 kg y de -0.72 a 1.03 kg; de -6.17 a 10.27 kg y de -10.23 a 14.44 kg; y de -14.66 a 25.12 kg y de -11.39 a 15.10 kg para PN, PD y PA, respectivamente; para P18M, GDA y GD18M los valores genéticos predichos directos variaron de -32.6 a 47.0 kg, de -7.4 a 11.5 y de -23.8 a 23.9, respectivamente. Las tendencias de los valores genéticos directos y maternos (g/año) fueron de 1.6 y -1.2 para PN; 47.4 y 30.8 para PD; 161.6 y 49.4 para PA; y de valores genéticos directos de 248.3 para P18M, 74.0 para GDA, y 108.1 para GD18M.

Palabras clave: evaluación genética, bovinos para carne, características de crecimiento, Tropicarne, Comparación de modelos.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad entre razas puede ser aprovechada en el desarrollo de razas sintéticas, con la ventaja de utilizar un porcentaje de heterosis considerable y combinar las características deseables de las razas fundadoras. Los criterios a considerar en el desarrollo de una raza sintética deben de estar en función de las condiciones ambientales y sistemas de producción donde la nueva raza se desenvolverá (Gregory *et al.*, 1991). Asimismo, se esperaría que la respuesta a la selección fuera mayor en una raza sintética debido a la mayor variabilidad genética existente, producto de las razas involucradas en su formación (Bennett y Gregory, 1996).

Con el objetivo de buscar animales adaptados a las condiciones tropicales y aprovechar parte de las ventajas de los sistemas de cruzamiento entre razas, un grupo de ganaderos de la región Tropical del Noreste de México desarrollaron la primera raza de ganado bovino mexicana, Tropicarne, con una composición aproximada de 63% Senepol, 23% Barzona, 9% Brahman y 5% Charolais. Para que el mejoramiento genético de esta nueva raza se lleve a cabo con mayor efectividad se requiere definir criterios de selección que maximicen la probabilidad que los machos y hembras seleccionados como reemplazos posean genes de la mejor calidad de acuerdo con las características de interés. Uno de estos criterios es la obtención de los mejores predictores lineales insesgados (BLUP) de los valores genéticos de los animales, involucrando la información de todos los parientes, a través de la

matriz de relaciones genéticas aditivas entre ellos, mediante el uso del modelo animal (Van Vleck y Núñez-Domínguez, 1992).

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. Finalmente, es de interés conocer el comportamiento que han tenido los valores genéticos debido a la selección practicada por los criadores a través del tiempo, lo cual se puede cuantificar mediante el cálculo de las tendencias en los valores genéticos, permitiendo evaluar y proponer mejoras en los esquemas actuales de selección. No existen estudios previos del ganado Tropicarne sobre los temas antes referidos.

Por lo anterior, los objetivos del presente trabajo fueron: determinar el mejor modelo para la predicción de valores genéticos, estimar parámetros genéticos, y estimar las tendencias genéticas para características de crecimiento en ganado bovino Tropicarne.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen de la información

La Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Tropicarne, proporcionó la información para este estudio. La Asociación Tropicarne 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 asignado por la Asociación, las características consideradas para su inscripción de acuerdo con el patrón racial, y las características de crecimiento de acuerdo con los pesos a diferentes edades.

El sistema de producción que utilizan los criadores de esta raza es típico de las regiones tropicales, y se caracteriza por alimentación con base en pastoreo, empadre durante el año con tendencia a concentrarse en los meses de julio y agosto, y febrero y marzo, utilizando una relación de 25 a 30 vientres por semental. La desparasitación externa se realiza según la incidencia y rara vez se desparasita internamente. El destete de los becerros se realiza aproximadamente a los ocho meses de edad. Una vez destetados, los machos se separan de las hembras, alimentándose sólo con base en pastoreo, más el suministro de sales minerales y vitaminas.

La región en donde se desarrolló la raza Tropicarne tiene un clima tropical seco, con temperaturas mínimas ligeramente menores de 15 °C que ocurren en el invierno y las máximas arriba de 40 °C que se presentan en primavera y verano. La precipitación promedio anual varía de 700 a 1200 mm, con una marcada estacionalidad en la presencia de lluvias (de junio a octubre), nortes (de noviembre a febrero) y secas (de marzo a junio).

Información analizada

Las características evaluadas fueron pesos al nacimiento (PN), al destete ajustado a los ocho meses de edad (PD) al año (PA) y a los 18 meses (P18M), y ganancia de peso total del destete al año (GDA) y del destete a los 18 meses de edad (GD18M); estos registros cubren el período de 1977 a 1998. El archivo de pedigrí incluyó 1895 animales nacidos de 1965 a 1998. En el Cuadro 5.1 se presentan los estadísticos descriptivos de las características estudiadas.

Cuadro 5.1. Número de observaciones (n), media (μ) y desviación estándar (σ) de las características de crecimiento estudiadas

Característica	n	μ (kg)	σ (kg)
Peso al nacimiento	1523	35.24	2.24
Peso al destete	1522	220.20	27.03
Peso al año	1523	263.29	36.56
Peso a los 18 meses	1142	323.42	49.36
Ganancia total del destete al año	1522	42.67	25.87
Ganancia total del destete a los 18 meses	1141	101.58	41.55

Modelos estadísticos

Para seleccionar el modelo que mejor se ajustara a la variación de las características bajo estudio y considerando la importancia de la madre en el crecimiento de los bovinos para carne (Willham, 1972; Baker, 1980) se estudiaron varios modelos a partir del siguiente modelo animal univariado:

$$y = Xb + Zg + Mm + Wp + e$$

donde: **y** es el vector de registros de comportamiento para una característica de crecimiento; **b** es el vector de efectos fijos incluyendo los grupos contemporáneos y las covariables en su función lineal y cuadrática de edad de la vaca y proporción de genes Tropicarne para todas las características analizadas, y la covariable peso al destete en su función lineal para GDA y GD18M; **X** es una matriz de incidencia que asocia **b** con **y**; **g** es un vector de valores genéticos aditivos directos; **Z** es una matriz de incidencia que asocia **g** con **y**; **m** es un vector de valores genéticos aditivos maternos; **M** es una matriz de incidencia que asocia **m** con **y**; **p** es un vector de efectos de ambiente permanente de la vaca; **W** es una matriz de incidencia que asocia **p** con **y**; y **e** es el vector de efectos residuales. Para la formación de grupos contemporáneos se consideraron subclases involucrando los efectos de año y época de nacimiento, rancho de origen y sexo de la cría, con un mínimo de cuatro observaciones por grupo.

$$E[y] = Xb, E[g] = 0, E[m] = 0, E[p] = 0, E[e] = 0$$

La estructura de la matriz de (co)varianzas es de la siguiente forma:

$$V \begin{bmatrix} g \\ m \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \sigma_g^2 & A \sigma_{gm} & 0 & 0 \\ A \sigma_{gm} & A \sigma_m^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_V \sigma_p^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_N \sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

donde **A** es la matriz de relaciones genéticas aditivas entre los animales, σ_g^2 es la varianza de efectos genéticos aditivos directos, σ_m^2 es la varianza de efectos genéticos aditivos maternos, σ_{gm} es la covarianza entre efectos genéticos aditivos directos y maternos, σ_p^2 es la varianza de efectos maternos de ambiente permanente, σ_e^2 es la varianza residual, V es el número de vacas, N es el número de observaciones, e **I** es una matriz identidad.

Partiendo del modelo completo descrito anteriormente, cada característica se analizó considerando los siguientes modelos: **DMCP** = modelo con efectos genéticos directos y maternos y la covarianza entre éstos, y efectos maternos de ambiente permanente (modelo completo); **DMC** = modelo con los efectos genéticos directos y maternos y la covarianza entre ellos; **DMP** = modelo con efectos genéticos directos y maternos, y efectos maternos de ambiente permanente, considerando la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos igual a cero; **DM** = modelo con efectos genéticos directos y maternos, considerando la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos igual a cero; **DP** = modelo con efectos genéticos directos y efectos maternos de ambiente permanente; y **D** = modelo sólo con efectos genéticos directos. En

general, se buscó elegir el modelo más simple, partiendo del modelo más completo, que incluyera sólo los efectos aleatorios que significativamente mejoraran el ajuste a los datos para cada característica. En el Cuadro 5.2 se muestra la estructura de los componentes de (co)varianza y parámetros estimados con cada modelo.

Cuadro 5.2. Estructura de los componentes de (co)varianza y parámetros estimados con cada modelo

Modelo	σ^2_g	σ^2_m	σ_{gm}	σ^2_p	σ^2_e	σ^2_f	h^2_g	h^2_m	h^2_t	r_{gm}	c^2
DMCP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
DMC	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	
DMP	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
DM	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓		
DP	✓			✓	✓	✓	✓		✓		✓
D	✓				✓	✓	✓		✓		

σ^2_g = varianza de efectos genéticos aditivos directos; σ^2_m = varianza de efectos genéticos aditivos maternos; σ_{gm} = covarianza entre efectos genéticos aditivos directos y maternos; σ^2_p = varianza de efectos maternos de ambiente permanente; σ^2_e = varianza residual; σ^2_f = varianza fenotípica; h^2_g = heredabilidad de efectos genéticos directos; h^2_m = heredabilidad de efectos genéticos maternos; h^2_t = heredabilidad total = $(\sigma^2_g + 1.5 \sigma_{gm} + 0.5 \sigma^2_m) / \sigma^2_f$ (Willham, 1972); r_{gm} = correlación entre efectos genéticos aditivos directos y maternos; c^2 = proporción de la varianza fenotípica debida a la varianza de efectos maternos de ambiente permanente

Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa de máxima verosimilitud restringida, sin el uso de derivadas y multivariado (Multiple Trait Derivative Free Restricted Maximum Likelihood, MTDFREML, Boldman *et al.*, 1995). El programa contiene un conjunto de subrutinas para la estimación de componentes de varianza y covarianza de los efectos aleatorios, a través de Máxima Verosimilitud Restringida (REML) sin el uso de derivadas; posterior a la estimación de componentes de (co)varianza una vez alcanzada la

convergencia, procede a obtener soluciones a las ecuaciones de modelos mixtos de Henderson, con propiedades de mejores predictores lineales insesgados (BLUP) de los efectos aleatorios y de mejores estimadores lineales insesgados de los efectos fijos (BLUE).

El criterio de convergencia, basado en la varianza del logaritmo de la función de verosimilitud, fue 1×10^{-9} ; fueron necesarios varios reinicios hasta que los cambios en el logaritmo de la función de verosimilitud fueron menores que 1×10^{-4} . Para la elección del mejor modelo se utilizó la prueba de proporciones de verosimilitud (Mood *et al.*, 1974), la cual se basa en las diferencias de los valores del logaritmo de la función de máxima verosimilitud, $-2[\log Li - \log Li']$, los cuales se distribuyen como ji cuadrada, con grados de libertad equivalentes a la diferencia en el número de parámetros en Li vs Li' ; y el cálculo de las probabilidades se obtuvo con el procedimiento CHIQS de SAS (SAS, 1988).

Para el estimar las tendencias genéticas, se obtuvo la regresión del promedio por año de los valores genéticos predichos de los animales para cada característica, sobre el año de nacimiento del animal.

Por otra parte, considerando que la comparación de modelos del presente trabajo se inició con un modelo completo (DMCP), se compararon los valores genéticos de los sementales predichos a través del modelo seleccionado para cada característica, con los del modelo completo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 5.3 se presentan las estimaciones de los componentes de (co)varianza y de parámetros genéticos para las características estudiadas, de acuerdo con cada uno de los seis modelos analizados. La eficiencia en los programas de selección se basa en el conocimiento de los componentes ambientales y genéticos que inciden sobre la variación de las características en estudio en una población dada. El método de selección y la respuesta a la selección (directa o correlacionada) depende de la naturaleza genética de la característica. En la metodología de los modelos mixtos, usando el modelo animal, se requiere de la estimación de los parámetros genéticos de la población para la predicción del valor genético de los animales.

Peso al nacimiento

La covarianza entre efectos genéticos directos y maternos (σ_{gm}) influyó (Cuadro 5.3) en la estimación de componentes de varianza para los efectos genéticos directos (σ_g^2) y maternos (σ_m^2); lo que puede ser observado en las estimaciones de σ_g^2 y σ_m^2 cercanas a cero cuando esta covarianza no se incluyó en los modelos (D, DP, DM y DMP); mientras que con los modelos en que fue incluida (DMC y DMCP), la magnitud de las σ_g^2 y σ_m^2 se incrementó considerablemente. Las estimaciones de σ_{gm} fueron altas y negativas; consecuentemente, la correlación genética entre efectos directos y maternos (r_{gm}) fueron altas y negativas al utilizar los modelos DMC (-0.96) y DMCP (-0.97), lo que indica un antagonismo genético entre ambos efectos (Ferraz *et al.*, 2000); por ejemplo,

Cuadro 5.3. Estimadores de componentes de (co)varianza (kg^2) y de parámetros^a, de acuerdo con los modelos estudiados^b para las características de peso al nacimiento, al destete, al año y a los 18 meses, y ganancia total del destete al año y del destete a los 18 meses de edad

	σ^2_g	σ^2_m	σ_{gm}	σ^2_p	σ^2_e	σ^2_f	h^2_g	h^2_m	r_{gm}	h^2_t	c^2
Peso al nacimiento											
DMCP	0.371	0.321	-0.334	0.017	2.835	3.210	0.12 ± 0.07	0.10 ± 0.06	-0.97 ± 0.11	0.01	0.01 ± 0.04
DMC ^c	0.373	0.337	-0.341	-----	2.844	3.213	0.12 ± 0.07	0.10 ± 0.05	-0.96 ± 0.10	0.01	-----
DMP	0.019	0.008	-----	0.053	3.086	3.166	0.01 ± 0.02	0.00 ± 0.02	-----	0.01	0.02 ± 0.03
DM	0.019	0.024	-----	-----	3.126	3.169	0.01 ± 0.02	0.01 ± 0.02	-----	0.01	-----
DP	0.022	-----	-----	0.060	3.085	3.167	0.01 ± 0.02	-----	-----	0.01	0.02 ± 0.03
D	0.026	-----	-----	-----	3.142	3.168	0.01 ± 0.02	-----	-----	0.01	-----
Peso al destete											
DMCP	50.29	66.03	-21.04	16.32	343.73	455.33	0.11 ± 0.06	0.15 ± 0.06	-0.37 ± 0.06	0.11	0.04 ± 0.04
DMC	49.33	82.14	-22.99	-----	349.51	457.99	0.11 ± 0.06	0.18 ± 0.05	-0.36 ± 0.24	0.12	-----
DMP	36.60	47.52	-----	17.30	353.15	454.57	0.08 ± 0.04	0.10 ± 0.05	-----	0.13	0.04 ± 0.04
DM ^c	35.42	61.84	-----	-----	359.81	457.07	0.08 ± 0.04	0.14 ± 0.04	-----	0.14	-----
DP	52.79	-----	-----	52.13	346.12	451.04	0.12 ± 0.05	-----	-----	0.12	0.12 ± 0.03
D	85.38	-----	-----	-----	372.39	457.77	0.19 ± 0.05	-----	-----	0.19	-----
Peso al año de edad											
DMCP	149.59	72.01	-32.18	26.34	468.37	684.13	0.22 ± 0.08	0.11 ± 0.05	-0.31 ± 0.24	0.20	0.04 ± 0.04
DMC	143.13	94.11	-32.08	-----	481.58	686.74	0.21 ± 0.08	0.14 ± 0.05	-0.28 ± 0.22	0.20	-----
DMP	116.17	54.29	-----	24.02	488.08	682.56	0.17 ± 0.05	0.08 ± 0.04	-----	0.20	0.04 ± 0.04
DM ^c	113.36	72.83	-----	-----	499.14	685.33	0.17 ± 0.05	0.11 ± 0.04	-----	0.22	-----
DP	142.09	-----	-----	56.61	481.29	679.99	0.21 ± 0.05	-----	-----	0.21	0.08 ± 0.03
D	170.60	-----	-----	-----	514.92	685.52	0.25 ± 0.05	-----	-----	0.25	-----

^a σ^2_g = varianza de efectos genéticos aditivos directos; σ^2_m = varianza de efectos genéticos aditivos maternos; σ_{gm} = covarianza entre efectos genéticos aditivos directos y maternos; σ^2_p = varianza de efectos maternos de ambiente permanente; σ^2_e = varianza residual; σ^2_f = varianza fenotípica h^2_g = heredabilidad de efectos genéticos directos; h^2_m = heredabilidad de efectos genéticos maternos; h^2_t = heredabilidad total = $(\sigma^2_g + 1.5 \sigma_{gm} + 0.5 \sigma^2_m) / \sigma^2_f$, (Willham, 1972); r_{gm} = correlación entre efectos genéticos aditivos directos y maternos; c^2 = proporción de la varianza fenotípica debida a la varianza de efectos maternos de ambiente permanente.

^b Las siguientes letras indican los efectos considerados en el modelo: D = efectos genéticos aditivos directos; M = efectos genéticos aditivos maternos; C = covarianza entre los efectos genéticos aditivos directos y maternos; P = efectos maternos de ambiente permanente.

^c Mejor modelo.

Cuadro 5.3. Continuación

	σ^2_g	σ^2_m	σ_{gm}	σ^2_p	σ^2_e	σ^2_f	h^2_g	h^2_m	r_{gm}	h^2_t	c^2
Peso a los 18 meses de edad											
DMCP	221.37	5.75	35.66	80.83	671.29	1014.90	0.22 ± 0.08	0.01±0.05	1.00±4.95	0.27	0.08±0.05
DMC	192.89	48.66	43.48	-----	730.28	1015.31	0.19 ± 0.07	0.05±0.05	0.45±0.60	0.28	-----
DMP	277.42	5.99	-----	90.70	643.79	1017.90	0.27 ± 0.07	0.01±0.04	-----	0.27	0.09±0.05
DM	224.99	86.52	-----	-----	705.49	1017.00	0.22 ± 0.07	0.09±0.05	-----	0.26	-----
DP ^c	282.79	-----	-----	93.51	642.05	1018.35	0.28 ± 0.07	-----	-----	0.28	0.09±0.04
D	303.96	-----	-----	-----	715.56	1019.52	0.30 ± 0.06	-----	-----	0.30	-----
Ganacia de peso total del destete al año de edad											
DMCP	53.02	7.47	-12.78	11.35	342.22	401.28	0.13 ± 0.06	0.02±0.04	-0.64±0.45	0.09	0.03±0.03
DMC	53.71	13.15	-14.02	-----	348.83	401.67	0.13 ± 0.06	0.03±0.04	-0.53 ± 0.33	0.10	-----
DMP	39.13	0.001	-----	10.72	350.57	400.42	0.10 ± 0.04	0.00±0.02	-----	0.10	0.03±0.03
DM	41.71	0.004	-----	-----	358.87	400.58	0.10 ± 0.04	0.00±0.02	-----	0.10	-----
DP	39.19	-----	-----	10.82	350.42	400.43	0.10 ± 0.04	-----	-----	0.10	0.03±0.03
D ^c	41.72	-----	-----	-----	358.92	400.64	0.10 ± 0.04	-----	-----	0.10	-----
Ganancia de peso total del destete a los 18 meses de edad											
DMCP	129.88	0.003	-0.533	43.23	582.22	754.80	0.17 ± 0.08	0.00±0.05	-0.93±NE ^d	0.17	0.06±0.05
DMC	121.41	0.777	9.713	-----	621.87	753.77	0.16 ± 0.07	0.00±0.04	-1.00±NE	0.18	-----
DMP	129.19	0.004	-----	43.29	582.08	754.56	0.17 ± 0.06	0.00±0.04	-----	0.17	0.06±0.05
DM	136.29	0.001	-----	-----	618.46	754.75	0.18 ± 0.06	0.00±0.03	-----	0.18	-----
DP	129.31	-----	-----	43.13	582.19	754.63	0.17 ± 0.06	-----	-----	0.17	0.06±0.04
D ^c	136.60	-----	-----	-----	618.12	754.72	0.18 ± 0.05	-----	-----	0.18	-----

^a σ^2_g = varianza de efectos genéticos aditivos directos; σ^2_m = varianza de efectos genéticos aditivos maternos; σ_{gm} = covarianza entre efectos genéticos aditivos directos y maternos; σ^2_p = varianza de efectos maternos de ambiente permanente; σ^2_e = varianza residual; σ^2_f = varianza fenotípica; h^2_g = heredabilidad de efectos genéticos directos; h^2_m = heredabilidad de efectos genéticos maternos; h^2_t = heredabilidad total = $(\sigma^2_g + 1.5 \sigma_{gm} + 0.5 \sigma^2_m) / \sigma^2_f$ (Willham, 1972); r_{gm} = correlación entre efectos genéticos aditivos directos y maternos; c^2 = proporción de la varianza fenotípica debida a la varianza de efectos maternos de ambiente permanente.

^b Las siguientes letras indican los efectos considerados en el modelo: D = efectos genéticos aditivos directos; M = efectos genéticos aditivos maternos; C = covarianza entre los efectos genéticos aditivos directos y maternos; P = efectos maternos de ambiente permanente.

^c Mejor modelo.

^d No estimable.

posiblemente los genes que determinan el potencial de crecimiento del becerro en la gestación sean incompatibles con aquellos que determinan la habilidad materna. Robinson (1996) evaluó los seis modelos del presente trabajo con ganado Angus y también estimó correlaciones entre efectos genéticos directos y maternos negativas, pero de menor magnitud que las del presente estudio, con los modelos DMC (-0.54) y DMCP (-0.61). Por el contrario, Meyer (1992) y Waldron *et al.* (1993) utilizando datos de ganado Hereford y Angus, estimaron correlaciones entre efectos genéticos directos y maternos positivas y bajas (entre 0.03 y 0.37).

Las heredabilidades de efectos genéticos aditivos directos y maternos estimadas con los modelos donde se incluyó la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos (DMC y DMCP) fueron superiores (0.10 y 0.12, respectivamente) a las estimadas con el resto de los modelos (máximo 0.01). Otros autores (Meyer, 1992; Waldron *et al.*, 1993; Robinson, 1996) estimaron heredabilidades de mayor magnitud para efectos genéticos directos (0.19 a 0.56) a través de varios modelos; mientras que la heredabilidad para efectos genéticos maternos con los modelos DMC y DMCP (0.09 a 0.23) fueron similares a las del presente trabajo.

Debido a que con los modelos DMC y DMCP, las estimaciones de las covarianzas entre efectos genéticos directos y maternos fueron negativas y de la misma magnitud que las varianzas de efectos genéticos directos y maternos, las estimaciones de la heredabilidad total fueron cercanas a cero (0.01). Con el

resto de los modelos las estimaciones de heredabilidad total también fueron bajas (0.01), al igual que las heredabilidades de efectos directos o maternos. Considerando la h^2_t como la regresión del genotipo total (directo y materno) sobre el fenotipo, las estimaciones de h^2_t indican que los cambios observados en PN no están determinados por efectos genéticos aditivos.

La magnitud de la varianza de efectos maternos de ambiente permanente, como proporción de la varianza fenotípica, fue pequeña (1 a 2%); y menor a lo reportado en otros estudios (Meyer, 1992; Waldron *et al.*, 1993; Robinson, 1996) donde se estimaron valores entre 3 y 12%. Lo anterior sugiere que la elección del mejor modelo va a depender de la estructura particular de los datos bajo estudio.

En el Cuadro 5.4 se presentan los valores de máxima verosimilitud ($-2 \log L$) correspondientes a los diferentes modelos analizados y características estudiadas. Con base en estos valores de máxima verosimilitud, se realizaron las pruebas de proporciones de verosimilitud para la identificación del modelo que mejor se ajustara a la variación para cada característica (Cuadro 5.5), partiendo del modelo más completo.

Cuadro 5.4. Valores de máxima verosimilitud ($-2 \log L$) en los modelos estudiados para la características peso al nacimiento (PN), al destete (PD), al año (PA) y a los 18 meses de edad (P18M), y ganancia de peso total del destete al año (GDA) y del destete a los 18 meses de edad (GD18M)

Modelos ^a	PN	PD	PA	P18M	GDA	GD18M
DMCP	3356.63	10422.17	10998.51	8683.55	10302.57	8403.20
DMC	3356.65	10422.83	10999.73	8687.45	10303.26	8405.46
DMP	3361.74	10423.52	10999.73	8684.50	10303.39	8403.20
DM	3361.99	10424.32	11000.59	8688.17	10304.20	8405.62
DP	3361.76	10431.01	11005.43	8684.51	10303.39	8403.20
D	3362.17	10444.56	11013.17	8690.87	10304.20	8405.62

^a Efectos considerados en el modelo: D = efectos genéticos aditivos directos; M = efectos genéticos aditivos maternos; C = covarianza entre los efectos genéticos aditivos directos y maternos; P = efectos maternos de ambiente permanente.

Cuadro 5.5. Prueba de proporciones de verosimilitud (Probabilidad $\{-2[\log L_i - \log L_i'] > \chi^2_{(1)}\}$) de los contrastes entre los modelos estudiados para las características de peso al nacimiento (PN), al destete (PD), al año (PA) y a los 18 meses (P18M), y ganancia total del destete al año (GDA) y del destete a los 18 meses de edad (GD18M)

Contrates ^a	PN	PD	PA	P18M	GDA	GD18M	Hipótesis
DMCP vs DMC	P > 0.89	P > 0.41	P > 0.32	P < 0.05	P > 0.41	P > 0.13	$\sigma^2_p = 0$
DMCP vs DMP	P < 0.02	P > 0.25	P > 0.27	P > 0.33	P > 0.37	P > 0.98	$\sigma^2_{gm} = 0$
DMC vs DM	P < 0.02	P > 0.22	P > 0.29	P > 0.40	P > 0.33	P > 0.69	$\sigma^2_{gm} = 0$
DMP vs DM	P > 0.62	P > 0.37	P > 0.35	P > 0.05	P > 0.37	P > 0.12	$\sigma^2_p = 0$
DMP vs DP	P > 0.88	P < 0.01	P < 0.02	P > 0.92	P > 0.99	P > 0.98	$\sigma^2_m = 0$
DM vs D	P > 0.67	P < 0.01	P < 0.01	P > 0.10	P > 0.98	P > 0.99	$\sigma^2_m = 0$
DP vs D	P > 0.52	P < 0.01	P < 0.01	P < 0.01	P > 0.37	P > 0.12	$\sigma^2_p = 0$

^a Efectos considerados en el modelo: D = efectos genéticos aditivos directos; M = efectos genéticos aditivos maternos; C = covarianza entre los efectos genéticos aditivos directos y maternos; P = efectos maternos de ambiente permanente.

Con base en los valores de verosimilitud se realizó la comparación entre los modelos estudiados para seleccionar el que mejor explicara la variación en PN. Los efectos ambientales permanentes de la vaca no contribuyeron ($P > 0.89$) a explicar la variabilidad entre registros, pero sí la covarianza ($P < 0.02$) entre efectos genéticos aditivos directos y maternos, por lo que el mejor modelo fue DMC.

Resultados diferentes fueron reportados por Meyer (1992), comparando los mismos modelos que en el presente estudio en ganado Angus y Hereford. Ella observó que el modelo que mejor se ajustaba para describir la variación de los datos de PN fue DMCP. Robinson (1996) también evaluó los seis modelos considerados en este estudio en ganado Angus, y encontró que el mejor modelo fue DMP.

Las estimaciones h^2_g , h^2_m y r_{gm} con el modelo DMC fueron 0.12, 0.10 y -0.96 , respectivamente. El estimador de h^2_g para PN es menor (0.16 a 0.52) a las estimadas por Meyer (1992) y Robinson (1996) y a las utilizadas en los programas nacionales de evaluaciones genéticas de bovinos para carne en los Estados Unidos (BIF, 1996). Con respecto a la h^2_m , algunos autores (Meyer, 1992; Robinson, 1996) han reportado valores de magnitud similar (0.06 a 0.13) a la del presente estudio; mientras que en las evaluaciones genéticas de los Estados Unidos utilizan valores que fluctúan entre cero y 0.28, a través de varias razas (BIF, 1996).

Zerlotti *et al.* (1995) analizando parte de la información reportada en la literatura sobre la estimación de parámetros genéticos en bovinos para carne producidos en condiciones tropicales, reportaron estimaciones promedios mayores para h^2_g (0.33), similares para h^2_m (0.12), y de signo similar pero de menor magnitud para r_{gm} (-0.37).

Peso al destete

Esta característica es una medida del potencial de crecimiento del becerro y de las cualidades de la madre. La habilidad o efecto materno, determinado principalmente por la producción de leche, tiene un componente ambiental y otro genético, debiendo este último ser considerado en los programas de selección (Meyer, 1992; Waldron *et al.*, 1993).

Considerando los seis modelos estadísticos (Cuadro 5.3), se observó que la magnitud de h^2_m estuvo en función de la inclusión de los efectos maternos de ambiente permanente y de la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos. Por ejemplo, al comparar los modelos DMP vs DM o DMCP vs DMC, se observó que h^2_m fue menor cuando se incluyó el efecto ambiental materno, sugiriendo una sobreestimación de h^2_m cuando el modelo ignora los efectos ambientales de la vaca. Resultados similares en reducción de h^2_m también han sido reportados por otros autores al comparar DMP vs DM (Meyer, 1992; Robinson, 1996) o DMCP vs DMC (Waldron *et al.*, 1993; Robinson, 1996; Berweger *et al.*, 1999).

El mayor estimador de h^2_g (0.19) se observó con el modelo D; al incluir los efectos genéticos y(o) ambientales maternos. La h^2_g disminuyó con el uso de otros modelos (hasta 0.08 para DMP y DM), sugiriendo que la h^2_g se sobreestima si se ignoran los efectos de la madre. El mayor estimador de h^2_t (0.19) fue con el modelo D, mientras que la mínima estimación (0.11) fue con el modelo completo (DMCP); debido a que la varianza de efectos genéticos

directos fue mayor en el modelo D, reduciéndose sustancialmente con el modelo DMCP más la presencia de la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos negativa.

Los estimadores de h^2_m del presente estudio están dentro del rango de estimaciones (0.06 a 0.48) reportadas por Meyer (1992) en bovinos Hereford, Angus y Cebú, Waldron *et al.* (1993) en bovinos Hereford y Angus, y Ferraz *et al.* (2001) en bovinos Tabapua, a través de varios modelos; asimismo, los estimadores de h^2_g reportados por los autores antes citados fluctúan de 0.06 a 0.59, lo que está dentro del rango de las estimaciones obtenidas en este estudio con ganado Tropicarne.

Las estimaciones de correlaciones genéticas entre efectos directos y maternos (r_{gm}) en los modelos DMC y DMCP (-0.37 y -0.36) fueron negativas y de baja magnitud; pudiéndose atribuir un antagonismo entre los efectos genéticos directos para crecimiento del becerro con los efectos genéticos de la vaca para la producción de leche (Ferraz *et al.*, 2001). Resultados similares fueron reportados por Waldron *et al.* (1993), quienes estimaron r_{gm} de -0.35 y -0.40 en ganado Hereford, la cual atribuyen a que el crecimiento predestete de esta raza puede estar limitado por la habilidad de la vaca para la producción de leche; asimismo, estos autores señalan que en las hembras con altos niveles de crecimiento corporal, el desarrollo de la glándula mamaria se ve restringido, inhibiendo la futura habilidad materna y manifestándose en una correlación negativa entre efectos genéticos directos y maternos.

Como posibles causas no genéticas que pueden incidir en la estimación de la correlación genética entre efectos genéticos directos y maternos, Robinson (1996) menciona que ésta puede estar confundida con la interacción semental con hato, año o estación de empadre. Al respecto, Berweger *et al.* (1999) analizando el peso al destete en ganado Angus, y comparando una serie de modelos considerando de la interacción semental con hato (SH), observaron que aquellos modelos que consideraron la interacción SH fueron significativamente mejores ($P < 0.01$) que aquellos que la ignoraron; además, al no incluir la interacción SH en los modelos, resultaba una correlación entre efectos genéticos directos y maternos alta y negativa, y al incluir la interacción SH, h^2_g se reducía la en aproximadamente 30%.

Por otra parte, se menciona que la estimación de componentes de varianza puede variar cuando se analizan datos con cierto grado de selección (Mallinckrodt *et al.*, 1995), o que el archivo de pedigrí no tenga las identificaciones de los sementales correctas o completas, repercutiendo en una interacción semental con año (Lee y Pollak, 1997).

Estimaciones de r_{gm} negativas y de mediana magnitud (de -0.41 a -0.52) similares a las del presente estudio han sido reportadas (Robinson, 1996; Berweger *et al.*, 1999; Ferraz *et al.*, 2001) utilizando los modelos DMC y DMCP.

Al contrastar los modelos para peso al destete (Cuadro 5.5) se observó que tanto los efectos ambientales permanentes de la vaca ($P > 0.41$) como la

covarianza entre efectos genéticos directos y maternos ($P > 0.22$) no explicaron mejor la variación en los datos respectivos, seleccionándose el modelo DM. Por el contrario, Meyer (1992), comparando los mismos modelos que en el presente estudio en bovinos Angus, Hereford y Cebú, reportó que el modelo que mejor se ajustaba para describir la variación del PD fue el modelo completo (DMCP). Por otro lado, Robinson (1996) también evaluó los seis modelos considerados en este estudio, en ganado Angus Australiano, y reportó que el mejor modelo fue DMC.

En otros análisis de comparación de modelos, Ferraz *et al.* (2001) analizando el peso al destete en ganado Tabapua, evaluaron cuatro modelos (DMCP, DMC, DP y D) y con base en los valores de verosimilitud, encontraron que el modelo que mejor describió la variación de los datos fue aquel que consideró todos los efectos (DMCP). Similarmente, Cabrera *et al.* (2001) evaluando el efecto de la incorporación de la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos (DMCP vs DMP) para peso al destete en bovinos de la raza Nelore, concluyeron que el modelo que mejor se ajustó a describir la variación de los datos fue el que consideraba la covarianza (DMCP).

Los estimadores de h^2_g y h^2_m con base en el modelo seleccionado fueron de 0.08 y 0.14, respectivamente. Zerlotti *et al.* (1995) en una revisión de literatura sobre la estimación de parámetros genéticos en bovinos para carne producidos en condiciones tropicales, reportaron estimadores promedio para h^2_g (0.22) y h^2_m (0.18) superiores a las del modelo seleccionado. Por otro lado, los

estimadores de h^2_g utilizados en las evaluaciones nacionales de bovinos para carne en los Estados Unidos son muy superiores a las del presente estudio (0.17 a 0.43), mientras que el estimador de h^2_m del presente estudio está dentro del rango de estimaciones (0.09 a 0.30) utilizadas en ese país (BIF, 1996).

Peso al año

Se observó cierta influencia de la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos en la estimación de h^2_m . En los modelos donde no se incluyó la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos (DMCP vs DMP y DMC vs DM) la estimación de h^2_m tendió a disminuir (0.11 vs 0.08 y 0.14 vs 0.11), coincidiendo con lo reportado por Robinson (1996) en Angus, y Meyer (1992) en Hereford y Cebú, mientras que Meyer (1992) en ganado Angus observó un comportamiento inverso, al aumentar la h^2_m debido a una estimación positiva de la covarianza. Por otro lado, en los modelos donde se ignoraron los efectos maternos de ambiente permanente (DMCP vs DMC y DMP vs DM) el estimador de h^2_m se incrementó (0.11 vs 0.14 y 0.08 vs 0.11).

El mayor estimador de h^2_t fue de 0.25 con el modelo D, reduciéndose hasta valores de 0.20 con los modelos DMCP, DMC y DMP. Asimismo, la mayor estimación de h^2_g (0.25) también fue obtenida con el modelo D; pero al incluir los efectos genéticos y(o) ambientales maternos, la h^2_g disminuyó (hasta 0.17 en los modelos DMP y DM), sugiriendo que ignorando los efectos de la madre se sobreestima la magnitud de h^2_g . Por otro lado, al incluir la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos (DMCP vs DMP y DMC vs DM), tiende a

incrementarse la estimación de h^2_g (0.22 vs 0.17 y 0.21 vs 0.17, respectivamente); lo que coincide con lo reportado por Meyer (1992) en ganado Hereford y Cebú, y Robinson (1996) en Angus, donde la covarianza fue negativa; y contrario a lo reportado por Meyer (1992) en ganado Angus (donde la covarianza fue positiva).

Las correlaciones genéticas entre efectos directos y maternos obtenidas a través de los modelos DMCP y DMC fueron de -0.28 y -0.31, respectivamente (Cuadro 5.3). Otros autores (Meyer, 1992; Robinson, 1996), también han reportado estimaciones de r_{gm} negativas y de mediana a alta magnitud (-0.39 a -0.95); mientras que Waldron *et al.* (1993) reportaron estimaciones positivas que variaron de 0.04 a 0.95.

Las estimaciones de h^2_g y h^2_m observadas en ganado Tropicarne para peso al año de edad están dentro del rango (de 0.12 a 0.49 y de 0.01 a 0.23, respectivamente) reportado en la literatura (Meyer, 1992; Waldron *et al.*, 1993; Robinson, 1996) usando modelos similares a los considerados en el presente estudio.

Comparando los modelos para peso al año (Cuadro 5.5), se encontró que tanto los efectos ambientales permanentes de la vaca ($P > 0.32$) como la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos ($P > 0.29$) no explicaron mejor la variación en los datos respectivos, seleccionándose el modelo DM. Estos resultados difieren de los de Meyer (1992), quien analizando los mismos

modelos del presente trabajo en bovinos Angus, Hereford y Cebú, reportó que para peso al año de edad el modelo que mejor se ajustó a describir la variación de los registros fue el modelo completo (DMCP); asimismo, Cabrera *et al.* (2001), evaluando los modelos DMCP y DMP en ganado Nelore, determinaron que el mejor modelo fue el DMCP. Por otro lado, Robinson (1996) en ganado Angus reportó que el modelo que mejor se ajustó para peso al año fue el modelo DMC.

Los estimadores de h^2_g y h^2_m con base en el modelo seleccionado, fueron de 0.17 y 0.11, respectivamente. Estimaciones de h^2_m de magnitud similar (0.10) para peso al año de edad también fueron reportadas por Eler *et al.* (1995) y Cabrera *et al.* (2001) en ganado Nelore, quienes señalan que estas son inesperadas, ya que generalmente el mayor efecto materno se manifiesta hasta el destete, y posteriormente el crecimiento está determinado principalmente por el potencial de los efectos genéticos directos. El observar efectos maternos aún en el crecimiento posdestete ha sido atribuido a efectos residuales sobre el peso al destete (Meyer, 1992; Waldron *et al.*, 1993).

Zerlotti *et al.* (1995) reportaron estimadores promedios de h^2_g (0.20) y h^2_m (0.16) en bovinos para carne producidos en condiciones tropicales, superiores a las observadas en el presente estudio.

Peso a los 18 meses de edad

El mayor estimador de h^2_g (0.30) fue con el modelo que consideraba únicamente los efectos genéticos directos, y el mínimo estimador (0.19) fue con el modelo DMC, indicando una sobreestimación de ésta, cuando no se consideran los efectos genéticos maternos y la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos en los modelos estadísticos. Por ejemplo, en los modelos donde no se incluyó la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos (DMCP vs DMP y DMC vs DM), la estimación de h^2_g se incrementó (0.22 vs 0.27 y 0.19 vs 0.22); asimismo, comparando los modelos DMC vs DM, el estimador de h^2_m se incrementó (0.05 vs 0.09) cuando no se incluyó la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos; mientras que en los modelos DMCP vs DMP la h^2_m (0.01) permaneció sin cambios, coincidiendo con lo reportado por Waldron *et al.* (1993) en bovinos Hereford y Angus.

Por otro lado, las correlaciones genéticas entre efectos directos y maternos con los modelos DMC y DMCP fueron positivas y de mediana a alta magnitud (1.0 y 0.45, respectivamente).

Las estimaciones de h^2_g , h^2_m y r_{gm} observadas en ganado Tropicarne están dentro del rango de estimaciones reportados por Waldron *et al.* (1993) evaluando el peso a los 18 meses en ganado Angus y Hereford con los modelos D, DP, DMC y DMCP.

En la selección de modelos para peso a los 18 meses, tanto los efectos genéticos maternos ($P > 0.92$) como la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos ($P > 0.33$) no fueron importantes, por lo que el mejor modelo fue DP. El estimador de h^2_g obtenido con el modelo seleccionado fue de 0.28, lo que es inferior (0.38) al reportado por Zerlotti *et al.* (1995) en bovinos para carne producidos en condiciones tropicales.

Ganancias de peso posdestete

Con relación a la ganancia de peso del destete al año de edad (GDA), los estimadores de h^2_g en los modelos que incluyeron la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos (DMCP y DMC) fueron de 0.13, mientras que en los estimadores obtenidos con el resto de los modelos (DMP, DM, DP y D) disminuyeron a 0.10. Asimismo, el estimador de h^2_m en los modelos DMC y DMCP fue de 0.03, mientras que en el resto de los modelos fue cero. Sin embargo, los estimadores de h^2_t permanecieron constantes (0.10) con los seis modelos evaluados.

Con relación a la ganancia de peso del destete a los 18 meses (GD18M) de edad se observó (Cuadro 5.3) que las estimaciones de h^2_g (0.16 a 0.18), h^2_m (0.0) y h^2_t (0.17 a 0.18), permanecieron constantes en los seis modelos evaluados.

En ambas características (GDA y GD18M) se observaron correlaciones genéticas entre efectos directos y maternos, negativas y de moderadas a altas

(de -0.53 a -1.00), las cuales se pueden atribuir a la magnitud de los efectos maternos sobre el peso al destete. Al respecto, Elzo *et al.* (1987) mencionaron que si la habilidad materna es inadecuada, produciendo becerros con pesos al destete más livianos, el becerro puede experimentar cierto crecimiento compensatorio, o en caso contrario si el efecto materno sobre el peso al destete es excesivo la ganancia de peso posdestete se reducirá.

En la selección de modelos para las ganancias de peso del destete al año y del destete a los 18 meses de edad, se observó que los efectos genéticos maternos ($P > 0.98$) y de ambiente permanente ($P > 0.12$) y la covarianza entre efectos genéticos directos y maternos ($P > 0.33$), no contribuyeron a explicar la variabilidad entre los datos, seleccionándose el modelo D.

Estos resultados se relacionan con lo expuesto por Meyer (1992), Waldron *et al.* (1993) y Eler *et al.* (1995), quienes citan que los efectos maternos presentes en el crecimiento posdestete son producto de efectos residuales sobre el crecimiento predestete y por consiguiente, dado que en el presente estudio se incluyó la covariable de peso al destete, la ganancia posdestete estará principalmente determinada por los efectos genéticos aditivos directos.

Las estimaciones de h^2_g para GDA y GD18M fueron de 0.10 y 0.18, respectivamente. Bennett y Gregory (1996) evaluando las GDA de nueve razas puras y tres sintéticas con un modelo animal con solo efectos directos, reportaron estimaciones de h^2_g superiores a las observadas en el presente

trabajo. La variación de las estimaciones reportadas por estos autores fue de 0.39 (Hereford) a 0.51 (Pinzgauer) en las razas puras, y de 0.49 (MARC I) a 0.59 (MARC III) en las razas sintéticas. La superioridad en los estimadores de las razas sintéticas sobre las puras se atribuye a la variabilidad genética existente producto de las razas involucradas en su formación.

Los estimadores de h^2_g para GDA utilizadas en los programas de evaluaciones genéticas de los Estados Unidos (BIF, 1996) son superiores en algunas razas a las obtenidas en el presente estudio, variando de 0.08 (Salers) a 0.36 (Red Angus).

Las diferencias observadas entre estudios, respecto al modelo que mejor explica la variación en los registros para las diferentes características estudiadas, enfatizan la importancia de estudios como el presente, indicando que el mejor modelo varía en función de la raza, la característica y las condiciones de manejo de la población.

Predicción de valores genéticos y cálculo de las tendencias genéticas

Utilizando los componentes de (co)varianza del mejor modelo para cada característica, se predijeron los valores genéticos de los animales, así como las tendencias genéticas para las características de crecimiento. En el Cuadro 5.6 se presentan los intervalos de los valores genéticos predichos para las características analizadas.

Cuadro 5.6. Intervalo de los valores genéticos predichos (kg) de acuerdo con los modelos seleccionados para las características de crecimiento

Característica	Valores genéticos directos		Valores genéticos maternos	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Peso al nacimiento	-1.07	0.83	-0.72	1.03
Peso al destete	-6.17	10.27	-10.23	14.44
Peso al año	-14.66	25.12	-11.39	15.10
Peso a los 18 meses	-32.60	47.00	-----	-----
Ganancia del destete al año	-7.43	11.58	-----	-----
Ganancia del destete a los 18 meses	-23.88	23.99	-----	-----

La variabilidad en los valores genéticos predichos para las características de crecimiento, puede ser aprovechada en la implementación de los programas de selección, con el propósito de mejorar las características de interés en los bovinos Tropicarne.

Las tendencias genéticas se presentan en el Cuadro 5.7. Las tendencias genéticas para efectos directos y maternos observadas en el PN (1.6 y -1.2 g/año, respectivamente) son adecuadas, por lo que la posibilidad de tener problemas al parto en un futuro cercano es baja. Para el resto de las características las tendencias obtenidas en el presente estudio fueron positivas,

aunque de baja magnitud, indicando que los programas de selección aplicados por los productores de esta raza han sido eficientes, pero que pueden mejorarse con la aplicación de nuevos esquemas de selección basados en la predicción de valores genéticos de los animales.

Cuadro 5.7. Estimaciones de las tendencias genéticas calculadas a través de la regresión de los valores genéticos predichos, sobre el año de nacimiento (g/año)

	Efectos directos			Efectos maternos		
	β^a	% ^b	Prob.	β^a	% ^b	Prob.
Peso al nacimiento	1.6±1	0.00	P>0.13	-1.2±1	0.00	P>0.28
Peso al destete	47.4±10	0.02	P<0.01	30.8±17	0.01	P>0.09
Peso al año	161.6±24	0.06	P<0.01	49.4±13	0.02	P<0.01
Peso a los 18 meses	248.3±42	0.08	P<0.01			
Ganancia de peso del destete al año	74.0±12	0.17	P<0.01			
Ganancia de peso del destete a los 18 meses	108.1±25	0.11	P<0.01			

^a β = Coeficiente de regresión lineal de los valores genéticos predichos sobre el año de nacimiento.

^b Tendencia genética expresada como porcentaje de la media de la característica.

Estimaciones de tendencias genéticas para peso al nacimiento, superiores a las del presente trabajo fueron publicadas por Ferraz *et al.* (2000), quienes evaluando ganado Santa Gertrudis calcularon tendencias de valores genéticos directos de 12 g/año (0.06% de la media); asimismo, Sullivan *et al.* (1999) evaluaron cinco razas europeas de bovinos para carne y reportaron tendencias de los valores genéticos directos que van de 49 g/año (0.12% de la media, en Angus) a 216 g/año (0.56% de la media, en Hereford).

Para peso al destete, Zollinger y Nielsen (1984) en ganado Angus, y Ferraz *et al.* (2000) en ganado Santa Gertrudis, reportaron tendencias de los valores genéticos directos de 900 y 67 g/año (0.84 y 0.06% de la media,

respectivamente), las cuales son mayores a las estimadas en el presente estudio. Similarmente, Cunningham y Klei (1995) evaluando ganado Simmental en cuatro regiones de los Estados Unidos, reportaron tendencias promedio de los valores genéticos directos de 903 g/año, pero los cambios en valores genéticos maternos fueron negativos (-0.32 g/año).

El mejoramiento en los valores genéticos directos y maternos para peso al año de edad fue de 162 g/año (0.06% de la media) y 49 g/año (0.02% de la media), respectivamente. Tendencias genéticas superiores para efectos directos (288 g/año, 0.10% de la media) fueron reportadas por Ferraz *et al.* (2000), en bovinos Santa Gertrudis.

Los cambios genéticos anuales en peso al destete y al año son también bajos si se comparan con los reportados por Smith (1984), quien revisó los resultados de cambios genéticos logrados a nivel experimental y en condiciones prácticas, y observó que los valores más altos de tendencias genéticas a nivel experimental fueron de 0.7 y 1.1% de la media para peso al destete y al año de edad, respectivamente; mientras que para peso al año en condiciones prácticas, las tendencias fueron de 0.3% de la media.

El valor genético directo para peso a los 18 meses se incrementó a una tasa anual de 248 g/año (0.08% de la media), similar a la obtenida por Ferraz *et al.* (2000) en ganado Santa Gertrudis (387 g/año, 0.10% de la media).

Las tendencias genéticas para ganancia de peso del destete al año y del destete a los 18 meses fueron 74 (0.17% de la media) y 108 g/año (0.11% de la media). Cambios genéticos similares en ganancias de peso posdestete fueron reportados por Silva *et al.* (1998) en cuatro razas de ganado cebuino (68 a 260 g/año; 0.06 a 0.18% de la media). Sin embargo, Sullivan *et al.* (1999) evaluando la ganancia de peso del destete al año de edad de cinco razas europeas de bovinos para carne, reportaron tendencias de los valores genéticos directos, expresados como porcentaje de la media, que fluctuaron entre 1.0 (Charolais) y 1.6% (Hereford).

Por otro lado, Martínez-González *et al.* (2000) analizando la información de la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Cebú, reportaron tendencias genéticas para la ganancia de peso por día de edad (expresadas como porcentaje de la media) que variaron de 0.08 (Indobrasil) a 0.30% (Gyr).

En general, las tendencias genéticas para las características de crecimiento obtenidas en este estudio fueron inferiores a la mayoría de las reportadas en la literatura. Lo anterior se puede atribuir a diferencias en criterios de selección practicados por los criadores, quienes en algunos casos disponían para la selección de reemplazos de valores genéticos predichos, lo cual no ocurrió en el caso del ganado Tropicarne. Por otra parte, las diferencias en tendencias genéticas entre razas o entre características, pueden atribuirse a las diferencias en los criterios y objetivos de selección desarrollados por los criadores.

Correlación de los valores genéticos predichos y jerarquización de sementales

En el Cuadro 5.8 se presentan los coeficientes de correlación estimados entre los valores genéticos de los sementales predichos con el modelo seleccionado para cada característica y los predichos con el modelo completo; además se presentan las medias de los valores genéticos predichos con el modelo completo del 20% mejor ordenados con el modelo completo y con el modelo seleccionado.

Cuadro 5.8. Estimación de correlaciones entre los valores genéticos de los sementales predichos de acuerdo con el modelo seleccionado para cada característica y el modelo completo, y medias (kg) de los valores genéticos predichos del 20% de los mejores sementales

	Valores genéticos directos			Valores genéticos maternos		
	Corr ^a	MC ^b	MS ^c	Corr ^a	MC ^a	MS ^b
Peso al nacimiento	0.99	-0.35	-0.35	0.99	-0.31	-0.31
Peso al destete	0.97	6.00	5.91	0.97	4.36	4.11
Peso al año	0.99	13.69	13.68	0.95	5.24	4.89
Peso a los 18 meses	0.99	16.71	16.69			
Ganancia del destete al año	0.98	7.05	6.94			
Ganancia del destete a los 18 meses	0.99	10.66	10.64			

^a Coeficiente de correlación entre los valores genéticos de los sementales, predichos con el modelo seleccionado y con el modelo completo.

^b Promedio de los valores genéticos predichos con el modelo completo del 20% mejor de sementales.

^c Promedio de los valores genéticos predichos con el modelo completo del 20% mejor de sementales ordenados de acuerdo con el modelo seleccionado.

Comparando los promedios de los valores genéticos predichos con el modelo completo del 20% mejor de sementales ordenados de acuerdo con el modelo completo y el modelo seleccionado (Cuadro 5.8), se observó una tendencia en la cual los promedios de los sementales ordenados con el modelo completo eran superiores, siendo mayor esta diferencia en los valores genéticos maternos de peso al destete y peso al año.

Los coeficientes de correlación estimados entre los valores genéticos predichos con el modelo completo y el modelo seleccionado para cada características variaron de 0.95 a 0.99, indicando que el mejoramiento genético sería similar si la selección de los sementales se realiza con base en los valores genéticos predichos con el modelo completo o con el modelo seleccionado.

Estos resultados se relacionan con los reportados por Lee *et al.* (2000), quienes evaluando el peso al año, a los 18 meses y al sacrificio en bovinos nativos de Corea compararon nueve modelos, partiendo de un modelo completo que incluía los efectos aleatorios genéticos directos y maternos, más los efectos maternos de ambiente permanente y la interacción semental-hato; así como los efectos fijos región x año—estación, edad de la vaca x sexo, y presencia de la identificación del semental. Para peso a los 18 meses y al sacrificio reportaron coeficientes de correlación de 0.99, indicando que el progreso genético sería similar al utilizar en los programas de selección de sementales, las predicciones de los valores genéticos con cualquiera de los modelos estudiados; sin embargo, para peso al año los coeficientes de correlación fueron menores (0.91 y 0.92), principalmente cuando el modelo no incluía los efectos maternos.

Por otra parte, Ferreira *et al.* (1999), evaluando características de crecimiento en bovinos Hereford, compararon doce modelos partiendo de un modelo de semental sin relaciones de parentesco hasta un modelo animal considerando todas las relaciones genéticas aditivas. Concluyeron que con coeficientes de correlación producto-momento y de rango bajos (de 0.48 a 0.93) entre los

valores genéticos predichos con modelo de semental y modelo animal, el mejoramiento genético sería menor si se utilizan en los programas de selección los valores genéticos predichos con un modelo de semental.

CONCLUSIONES

Existe suficiente variabilidad genética para incrementar la tasa de crecimiento en becerros Tropicarne, si la selección de los reemplazos se basa en las predicciones de los valores genéticos de los animales.

Los efectos genéticos maternos estuvieron presentes desde el nacimiento y hasta el año de edad, mismos que se deben considerar en los próximos programas de selección; mientras que los efectos maternos de ambiente permanente estuvieron presentes hasta el peso a los 18 meses de edad.

Las tendencias genéticas para peso al nacimiento son adecuadas. Sin embargo, aunque para las demás características las tendencias genéticas están en la dirección deseable, su magnitud es pequeña.

LITERATURA CITADA

- Baker, R. L. 1980. The role of maternal effects on the efficiency of selection in beef cattle – A review. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 40:285-303.
- Bennett, G. L., and K. E. Gregory. 1996. Genetic (co)variances among birth weight, 200-day weight, and postweaning gain in composites and parental breeds of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 74:2598-2611.
- Berweger, B., M., J. Moll, and N. Künzi. 1999. Comparison of models to estimate maternal effects for weaning weight of Swiss Angus cattle fitting a sire x herd interaction as an additional random effect. *Livest. Prod. Sci.* 60:203-208.
- BIF. 1996. Guidelines for Uniform Beef Improvement Program (7th Ed). Beef Improvement Federation, Colby, KS. 161 p.
- Boldman, K. G., L. A. Kriese, L. D. Van Vleck, C. P. Van Tassell, and S. D. Kachman. 1995. A manual for use of MTDFREML. A set of programs to obtain estimates of variances and covariances (Draft). USDA, ARS. 114 p.
- Cabrera, M. E., A. del V. Carnero, B. Lobo R. y R. Gunski J. 2001. Efecto de la incorporación de la covarianza genética directa-materna en el análisis de características de crecimiento en la raza Nelore. *Livest. Res. Rural Dev.* 13(3).
- 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.

- Eler, J. P., L. D. Van Vleck, J. B. S. Ferraz, and R. B. Lobo. 1995. Estimation of variances due to direct and maternal effects for growth traits of Nelore cattle. *J. Anim. Sci.* 73:3253-3258.
- Elzo, M. A., R. L. Quaas, and E. J. Pollak. 1987. Effects of age of dam on weight traits in the Simmental population. *J. Anim. Sci.* 64:992-1001.
- Ferraz, J. B. S., J. P. Eler, and P. M. T. Ribeiro. 2000. Genetic study of Santa Gertrudis cattle in Brazil. *Livest. Res. Rural Develop.* 12(2).
- Ferraz, P. B. F., A. de Amorin R., L. O. Campos S., J. C. de Souza, and M. Mello de A. 2001. Alternative animal models to estimate heritabilities of and genetic correlation between direct and maternal effects for weaning weight of Tabapua cattle. En: *Memorias de la XVII Reunión de ALPA*. La Habana, Cuba. 20 – 23 Noviembre del 2001. pp 1987-1991.
- 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.
- Gregory, K. E., L. V. Cundiff, and R. M. Koch. 1991. Breed effects and heterosis in advanced generations of composite populations for growth traits in both sexes of beed cattle. *J. Anim. Sci.* 69:3202-3212.
- Lee, C., and E. J. Pollak. 1997. Relationship between sire x year interactions and direct-maternal genetic correlation for weaning weight of Simmental cattle. *J. Anim. Sci.* 75:68-75.

- Lee, J. W., S. B. Choi, Y. H. Jung, J. F. Keown, and L. D. Van Vleck. 2000. Parameter estimates for direct and maternal genetic effects on yearling, eighteen – month, and slaughter weights of Korean native cattle. *J. Anim. Sci.* 78:1414-1421.
- Mallinckrodt, C. H., B. L. Golden, and R. M. Bourdon. 1995. The effect of selective reporting on estimates of weaning weight parameters in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 73:1264-1270.
- Martínez-González, J. C., A. Tewolde-Medhin, A. González-Reyna, R. Núñez-Domínguez, F. Suárez-Vela, y S. D. Lukefahr. 2000. Tendencias fenotípicas y genéticas de características de producción en el ganado Cebú mexicano. En: *Memoria del Ciclo de Conferencias Sobre Evaluación, Comercialización y Mejoramiento Genético*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México. pp 108-112.
- Meyer, K. 1992. Variance components due to direct and maternal effects for growth traits of Australian beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 31:179-204.
- Mood, A. M., F. A. Graybill, and D. C. Boes. 1974. *Introduction to the Theory of Statistics*. Third edition. Edit. McGraw Hill. U.S.A. 564 p.
- Robinson, D. L. 1996. Estimation and interpretation of direct and maternal genetic parameters for weights of Australian Angus cattle. *Livest. Prod. Sci.* 45:1-11.
- SAS. 1988. *SAS/STAT User's Guide (Release 6.03)*. Cary NC, USA: SAS Inst. Inc.

- Silva, L. O. C., K. Euclides F., G. R. Figueiredo, P. R. C. Nobre, and L. A. Josanhkian. 1998. Genetic trends in Zebu (*Bos indicus*) breeds in Brazil. 1998. In: Proceedings of the 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Armidale Australia. 23:137-140.
- Smith, C. 1984. Rates of genetic change in farm livestock. Res. Develop. Agric. 1:79-85.
- Sullivan, P. G., J. W. Wilton, S. P. Miller, and L. R. Banks. 1999. Genetic trends and breed overlap derived from multiple-breed genetic evaluations of beef cattle for growth traits. J. Anim. Sci. 77:2019-2027.
- Van Vleck, L. D. y R. Núñez-Domínguez. 1992. Evaluaciones genéticas de toros y vacas lecheras con el modelo animal. Agrocienia Serie Ciencia Animal: 2(1): 33-57.
- Waldron, D. F., C. A. Morris, R. L. Baker, and D. L. Johnson. 1993. Maternal effects for growth traits in beef cattle. Livest. Prod. Sci. 34:57-70.
- Willham, R. L. 1972. The role of maternal effects in animal breeding: III. Biometrical aspects of maternal effects in animals. J. Anim. Sci. 35:1288-1293.
- Zerlotti, M. M. E., R. Barbosa L., y A. de los Reyes B. 1995. Parámetros genéticos de crecimiento en cebuinos de carne. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 3(1):45-89.
- Zollinger, W. A., and M. K. Nielsen. 1984. An evaluation of bias in estimated breeding values for weaning weight in Angus beef cattle field records. I. Estimates of within herd genetic trend. J. Anim. Sci. 58:54-59.

VI. CONCLUSIONES GENERALES

Los principales factores no genéticos que inciden sobre la variación de las características de crecimiento en el ganado Tropicarne son el sexo de la cría, año y época de nacimiento, rancho y las interacciones entre éstos, edad de la vaca, proporción de genes Tropicarne, y para el caso de las ganancias posdestete, el peso al destete. Estos factores deben considerarse en los modelos de evaluaciones genéticas con el propósito de corregir por estas fuentes de variación.

Existe suficiente variabilidad genética para incrementar la tasa de crecimiento en becerros Tropicarne. Para ello, la selección de los reemplazos debe basarse en los valores genéticos predichos de los animales.

Los modelos para las evaluaciones genéticas del peso al nacimiento, al destete y al año de edad, deben incluir los efectos genéticos maternos. Para peso a los 18 meses de edad deben considerarse los efectos maternos de ambiente permanente.

Las ganancias de peso totales del destete al año y a los 18 meses de edad, expresan la habilidad de los efectos genéticos directos, mismas que se deben de considerar en los programas de selección.

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH