

DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

HETEROSIS MATERNA UTILIZANDO BOVINOS ANGUS Y SUIZO PARDO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

PRESENTA:

ISELA JOSEFINA LÓPEZ HERRERA



AGOSTO DE 1999

Chapingo, Estado de México.

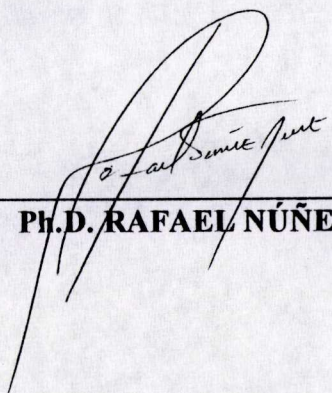
91237

HETEROSIS MATERNA UTILIZANDO BOVINOS ANGUS Y SUIZO PARDO

Tesis realizada por Isela Josefina López Herrera, bajo la dirección del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada para obtener el grado de:

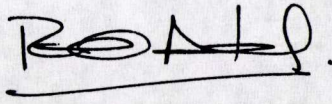
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR:



Ph.D. RAFAEL NÚÑEZ DOMÍNGUEZ

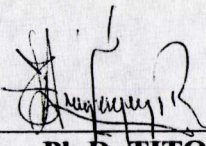
ASESOR:



Ir. RICARDO DANIEL AMÉNDOLA MASSIOTTI

34485

ASESOR:

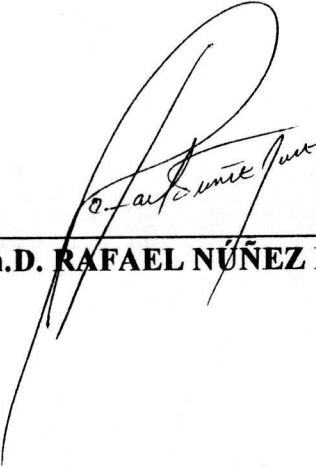


Ph.D. TITO ROQUE VÁZQUEZ ROJAS

HETEROSIS MATERNA UTILIZANDO BOVINOS ANGUS Y SUIZO PARDO

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de Isela Josefina López Herrera, autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Producción Animal, estuvo constituido por:

PRESIDENTE:



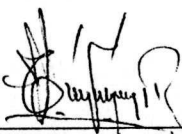
Ph.D. RAFAEL NÚÑEZ DOMÍNGUEZ

ASESOR:



Ir. RICARDO DANIEL AMÉNDOLA MASSIOTTI

ASESOR:



Ph.D. TITO ROQUE VÁZQUEZ ROJAS

DEDICATORIA

A DIOS, por permitir mi estancia y superación en esta etapa.

A MIS PADRES:

GUSTAVO y NATI, por su gran cariño e incondicional apoyo y confianza.

A MIS HERMANOS:

MANUEL, LETICIA y XOCHITL, por su gran apoyo y comprensión.

A MIS ABUELOS, quienes desde algún lugar me han brindado su apoyo.

A MI ESPOSO:

SERGIO CASTRO AGUILAR, por todo su apoyo y gran amor.

A MI DESCENDENCIA:

GUADALUPE ITZELL, inspiración de mi vida.

A MIS CUÑADOS Y SOBRINOS

Ma. de los Angeles, Uriel, Daniela, Perla, Eduardo, Nadia, Isis, Cesar, Daniel, Gabriela, Juan J., Juanita, y Leticia.

A Yolanda J., Juan Fdez., Edna, Josefina, Dinora, Benita, Nere, Guillermina, Setkiria, Soledad, Lupita, Mary, Cecilia y Asael, por su apoyo y cariño.

Al maestro JESÚS, por todo su apoyo.

Isela Josefina.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Departamento de Zootecnia, por su apoyo para la realización de la presente investigación.

A la Sección de Mejoramiento Genético del Departamento de Zootecnia

Al Ph.D. Rafael Núñez Domínguez, por aceptar la dirección de este trabajo, por sus valiosos conocimientos, por el tiempo y paciencia dedicados a mi formación en ésta área y por su invaluable apoyo.

Al Ph.D. Tito R. Vázquez Rojas y al Ir. Ricardo D. Améndola Massiotti, por formar parte del comité y por sus valiosas aportaciones a la presente investigación.

Al Ph.D. José Guadalupe García Muñiz, por las sugerencias proporcionadas para la realización del presente trabajo y por su colaboración desinteresada.

Al M.C. Carlos Apodaca Sarabia, por el desinteresado apoyo y por su amistad.

Al M.C. Rodolfo Ramírez V., M.C. Agustín Ruíz F., Ph.D. Valentina Mariscal A., Ph.D. Manuel Cuca G., Ph.D. Mariano González A., M.C. Germán Méndez E., Ph.D. Raymundo Rodríguez de L., Ph.D. Jaime Sahagún., y al M.C. Cuahutemoc, por el apoyo que siempre recibí de ustedes, por sus consejos y por compartir conmigo sus conocimientos.

DATOS BIOGRÁFICOS

Nombre: Isela Josefina López Herrera.

Lugar de Nacimiento: Distrito Federal, México.

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia.

Escolaridad:

Licenciatura: Realizada de 1989 a 1993 en el Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

Tesis: "Evaluación de la calidad y la producción de lana por unidad de área de ovinos Criollos, Corriedale, Suffolk y Rambouillet.

Cédula Profesional: 2161006

Maestría: Realizada de Enero de 1996 a Diciembre de 1997 en el Programa de Posgrado en Producción Animal del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, concluyendo con el presente trabajo de Tesis

Experiencia Profesional:

De Junio de 1994 a Octubre de 1995, en el Fondo de Empresas de Solidaridad del Estado de Oaxaca.

De Agosto de 1998 a Julio de 1999, en la Escuela Particular "Felipe Santiago Gutiérrez" de Texcoco, Edo. de México.

RESUMEN

I. J. López H. y R. Núñez D.

HETEROSIS MATERNA UTILIZANDO BOVINOS ANGUS Y SUIZO PARDO

(Agosto, 1999)

La caracterización de razas implica el conocimiento de los efectos genéticos aditivos individuales y maternos, y la heterosis individual y materna. El propósito de este estudio fue estimar la heterosis materna para características de crecimiento y reproductivas, y evaluar sistemas de cruzamiento utilizando las razas Angus (A) y Suizo Pardo (S). El experimento se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo, México, utilizando vacas A, S y sus cruza recíprocas producto de un cruzamiento dialélico, en donde todas las vacas se aparearon con toros Simmental. Las características de crecimiento y número de registros considerados fueron peso al nacimiento (PN, 276), al destete (PD, 249), al año (PA, 92), a los 18 meses (P18M, 80), ganancia de peso del nacimiento al destete (GND, 249), del destete al año (GDA, 92), del año a los 18 meses (GA18M, 79) y peso al destete por vaca expuesta (PDVE, 402). El análisis de varianza se realizó mediante el procedimiento GLM de SAS[®]. Todos los modelos incluyeron los efectos fijos de genotipo (G), sexo, número de parto, mes y año, estimándose heterosis materna para PN = 2.08%, PD = 1.41%, PA = -8.21%, P18M = -5.53%, GND = 1.44%, GDA = -9.36%, GA18M = 1.15% y PDVE = 6.85%; para ninguna de las características se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$). Las características reproductivas consideradas fueron la tasa de parición (TP) y

tasa de destetes (TD). El análisis se realizó mediante regresión logística utilizando el procedimiento CATMOD de SAS[®], incluyendo los efectos de G y edad de la vaca al parto o al destete. La heterosis materna para TP fue de 14.6% ($P < 0.01$) y para TD de 13% ($P < 0.02$). Para la evaluación de sistemas de cruzamiento se empleó el software ESIC y se encontró que el mejor sistema fue el rotativo, tanto cuando se evaluó el comportamiento para producción de becerros al destete como a los 18 meses.

Palabras clave: Heterosis Materna, Bovinos para Carne, Sistemas de Cruzamiento.

SUMMARY

López H.I.J. and R. Núñez-Domínguez.

MATERNAL HETEROSIS USING ANGUS AND BROWN SWISS CATTLE

(August, 1999)

Breed characterization requires knowledge of the individual and maternal additive genetic effects and individual and maternal heterosis. The objective of this study was to estimate maternal heterosis for growth and reproductive traits; also, crossbreeding systems using Angus (A) and Brown Swiss (S) cattle were evaluated. The experiment was carried out at the Universidad Autónoma Chapingo, using A and S and their reciprocal cross-cows, where all cows were mated with Simmental sires. Growth traits studied and number of records were: birth weight (PN, 276), weaning weight (PD, 249), yearling weight (PA, 92), weight at 18 months (P18M, 80), gain from birth to weaning (GND, 249), from weaning to one year of age (GDA, 92), from one year to 18 months (GA18M, 79) and weaning weight per cow exposed (PDVE, 402). The GLM procedure of SAS® was used to analyze the data. The models fitted included the fixed effects of breed (G), sex, calving number, month and year. Estimates of maternal heterosis were 2.08%, 1.41%, -8.21%, -5.53%, 1.44%, -9.36%, 1.15% y 6.85% for PN, PD, PA, P18M, GND, GDA, GA18M and PDVE, respectively, but none of these estimates were significant ($P > 0.05$). Reproductive traits studied were birth (TP) and weaning rate (TD), with 402 records for both traits. A logistic regression model was

used (CATMOD, SAS[®]), including the effects of G and cow age at birth (EP) or at weaning (ED). Estimates of maternal heterosis were 14.6% ($P < 0.01$) and 13% for TP and ($P < 0.02$) TD, respectively. The software ESIC was used to evaluate the crossbreeding systems. The best crossbreeding system was the rotational, when the performance was evaluated for both calf production at weaning and at 18 months of age.

Keywords: Maternal Heterosis, Beef Cattle, Crossbreeding Systems.

TABLA DE CONTENIDO

Tema	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	iv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Factores ambientales que afectan el crecimiento.....	3
2.2. Efectos maternos.....	4
2.3. Heterosis.....	6
2.3.1. Tipos de heterosis.....	8
2.3.2. Estimación de la heterosis materna.....	8
2.3.3. Heterosis materna para características de crecimiento.....	12
2.3.4. Heterosis materna para características reproductivas.....	18
2.4. Sistemas de cruzamiento.....	19
2.4.1. Sistemas de cruzamiento rotacional o alterno.....	21
2.4.2. Sistemas de cruzamiento terminal	24
2.4.3. Sistemas de cruzamiento rotacional-terminal	27
2.4.4. Sistemas de cruzamiento de raza sintética	31
HIPÓTESIS.....	34

3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1 Localización.....	35
3.2. Origen de la información.....	35
3.3. Manejo de los animales.....	36
3.4. Manejo de datos.....	39
3.4.1. Análisis estadístico.....	41
3.4.2. Análisis genético.....	46
3.4.3. Comparación de sistemas de cruzamiento.....	48
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
4.1. Características predestete.....	51
4.1.1. Peso al nacimiento.....	51
4.1.2. Peso al destete.....	53
4.2. Características postdestete.....	55
4.2.1. Peso al año	55
4.2.2. Peso a los 18 meses.....	56
4.3. Ganancias de peso.....	57
4.3.1. Ganancia de peso del nacimiento al destete.....	57
4.3.2. Ganancia de peso del destete al año.....	59
4.3.3. Ganancia de peso del año a los 18 meses.....	60
4.3.4. Ganancia de peso del destete a los 18 meses.....	61
4.3.5. Ganancia de peso del nacimiento a los 18 meses.....	62
4.4. Peso al destete por vaca expuesta	63

4.5. Características reproductivas.....	65
4.5.1. Tasa de pariciones.....	65
4.5.2. Tasa de destetes.....	66
4.6. Sexo de la cría.....	67
4.7. Comparación de los sistemas de cruzamiento.....	69
5. CONCLUSIONES.....	72
6. LITERATURA CITADA.....	73
7. ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1 Apareamientos entre los machos y hembras (señalados con X) que se dan para el diseño I.....	11
Cuadro 2 Apareamientos que se tienen para el diseño II (+) involucrando retrocruzas y para el diseño III (X) involucrando genotipos cruzados.....	12
Cuadro 3 Porcentaje de heterosis materna para peso al nacer (PN), al destete (PD) y al año (PA) y peso al destete por vaca expuesta (PDVE) en ganado bovino para carne.....	13
Cuadro 4 Heterosis materna (%) para ganancia de peso del nacimiento al destete (GND), del destete al año (GDA), del año a los 18 meses (GA18M) y del destete a los 18 meses (GD18M), para ganancia diaria de peso postdestete (GDPP), y para tasas de pariciones (TP) y de destetes (TD).....	17
Cuadro 5 Medias de cuadrados mínimos (kg) y heterosis materna para peso al nacimiento (PN), al destete (PD), al año (PA) y a los 18 meses (P18M), y peso al destete por vaca expuesta (PDVE) por genotipo de la vaca.....	51

Cuadro 6	Medias de cuadrados mínimos (kg) y heterosis materna para ganancia de peso del nacimiento al destete (GND), del destete al año (GDA), del año a los 18 meses (GA18M), del destete a los 18 meses (GD18M) y del nacimiento a los 18 meses (GN18M) por genotipo de la vaca.....	58
Cuadro 7	Tasa de pariciones, de destetes y heterosis materna para tasa de pariciones y de destetes en un cruzamiento entre Angus (A) y Suizo Pardo (S).....	66
Cuadro 8	Medias de cuadrados mínimos (kg) para peso al nacimiento (PN), al destete (PD), al año (PA) y a los 18 meses (P18M) por sexo de la cría.....	69
Cuadro 9	Medias de cuadrados mínimos (kg) para ganancia de peso del nacimiento al destete, del destete al año y del año a los 18 meses por sexo de la cría.....	69
Cuadro 10	Medias de cuadrados mínimos (kg) para ganancia de peso del destete a los 18 meses y del nacimiento a los 18 meses por sexo de la cría.	69
Cuadro 11	Comparación de diferentes sistemas de cruzamiento para evaluar el comportamiento del peso al destete por vaca expuesta (PDVE) y peso a los 18 meses por vaca expuesta (P18M/VE) de crías provenientes de vacas de las razas Angus y Suizo Pardo.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Diagrama de senderos que describe un valor fenotípico influenciado por un efecto materno (Dickerson, 1947; citado por Willham, 1980).....	6

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1 Número de observaciones que se utilizaron para el análisis de cada variable por genotipo de la vaca (Angus = A, Suizo Pardo = S).....	83
Anexo 2 Análisis de varianza para peso al nacimiento.....	83
Anexo 3 Análisis de varianza para peso al destete.....	83
Anexo 4 Análisis de varianza para peso al año.....	84
Anexo 5 Análisis de varianza para peso a los 18 meses.....	84
Anexo 6 Análisis de varianza para ganancia de peso del nacimiento al destete.....	84
Anexo 7 Análisis de varianza para ganancia de peso del destete al año.....	85
Anexo 8 Análisis de varianza para ganancia de peso del año a los 18 meses...	85
Anexo 9 Análisis de varianza para ganancia de peso del destete a los 18 meses.....	85
Anexo 10 Análisis de varianza para ganancia de peso del nacimiento a los 18 meses.....	86
Anexo 11 Análisis de varianza para peso al destete por vaca expuesta.....	86
Anexo 12 Análisis de varianza de regresión logística para tasa de pariciones, con variables indicadoras para genotipo de la vaca (P1, P2, P3).....	86

Anexo 13	Estimadores de los parámetros obtenidos por regresión logística para tasa de pariciones, con variables indicadoras para genotipo de la vaca (P1, P2, P2).....	87
Anexo 14	Análisis de varianza de regresión logística para tasa de destetes, con variables indicadoras para genotipo de la vaca (D1, D2, D3).....	87
Anexo 15	Estimadores de los parámetros obtenidos por regresión logística para tasa de destetes, con variables indicadoras para genotipo de la vaca (D1, D2, D3).....	87

HETEROSIS MATERNA UTILIZANDO BOVINOS ANGUS Y SUIZO PARDO

1. INTRODUCCIÓN

En México existen diferentes razas de ganado bovino productor de carne en climas templados, como la Angus, Hereford y Simmental entre otras, explotándose como animales puros o cruzados. En la región tropical se encuentran varios genotipos que se utilizan en sistemas de producción de carne y de doble propósito, como la Suizo Pardo, Indobrasil, Brahman y sus cruzas. Esta variedad de grupos raciales sugiere que es posible optimizar el comportamiento productivo y reproductivo a través de cruzas entre los animales productores de carne y los de leche, ya que existen numerosos estudios que así lo demuestran (Gregory *et al.*, 1966, 1978; Johnson *et al.*, 1986; Dearborn *et al.*, 1987; Marshall *et al.*, 1987; Kress *et al.*, 1992).

Pocos trabajos orientados a estimar heterosis en bovinos se han realizado en México. Algunos estudios (Fernández *et al.*, 1995a, b; Hernández, 1995; Núñez *et al.*, 1995a, b; Velázquez y Huerta, 1995) en cruzas de Angus x Suizo Pardo, han evaluado la heterosis individual para características de rendimiento en canal, ganancia de peso, eficiencia de utilización de dietas altas en grano y altas en forraje, y producción de leche.

La evolución y objetivos de selección de las razas Angus y Suizo Pardo han resultado en diferencias importantes; así la raza Angus se caracteriza por su precocidad, tamaño mediano a pequeño, moderada producción de leche, buena fertilidad y

marmoleo de la carne. Por su parte, la raza Suizo Pardo se caracteriza por su buena producción de leche, altas tasas de crecimiento y peso adulto, y tolerancia a las condiciones tropicales. Por lo anterior, el cruzamiento entre estas razas puede ser un mecanismo para combinar sus características deseables. Las diferencias existentes entre estas razas sugieren la importancia de caracterizarlas en términos de los efectos genéticos aditivos y no aditivos, con el fin de saber qué raza usar como madre y cuál como padre, así como la estrategia de cruzamiento más adecuada (Dickerson, 1969).

En los mamíferos la madre juega un papel muy importante en la expresión de algunas características en la cría, por lo que es necesario conocer el tipo y la cantidad relativa de la variación genética que es atribuible a efectos maternos y, especialmente, el signo y a la magnitud de la correlación genética entre los efectos directos y los maternos para características de importancia económica (Dillard *et al.*, 1980; Willham, 1980). La influencia de la madre a nivel de razas o cruas puede ser aditiva, como el efecto materno de una raza, o no aditiva, como el efecto de heterosis materna. Estimaciones de los efectos genéticos aditivos maternos para las razas Angus y Suizo Pardo para características de crecimiento y producción de leche, han sido publicadas previamente en México (Fernández *et al.*, 1995a, b; Hernández, 1995; Núñez *et al.*, 1995a, b; Velázquez y Huerta, 1995); sin embargo, no se tiene conocimiento de estimaciones de heterosis materna en ganado bovino en el país.

Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue estimar la heterosis materna para características de crecimiento y reproductivas en ganado bovino Angus y Suizo Pardo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Factores ambientales que afectan el crecimiento

En general, las características relacionadas con el crecimiento en bovinos como peso al nacimiento, peso al destete, ganancia diaria de peso y peso al año, son importantes en los sistemas de producción de carne, por lo que en los programas de mejoramiento genético estas características frecuentemente se consideran como criterios de selección.

La inclusión de ciertos efectos ambientales en los modelos de evaluaciones genéticas se hace con el propósito de corregir los registros por dichos efectos y por algunas de sus posibles interacciones, de tal manera que la variación remanente se deba en su mayoría a los efectos genéticos. Al respecto, Leighton *et al.* (1982) y DeNise *et al.* (1988) han observado como fuentes comunes de variación ambiental a factores como año de nacimiento, edad de la madre al parto, el sexo de la cría y la época de nacimiento.

En relación con el sexo de la cría, se ha observado que afecta de manera importante las características de crecimiento. En la literatura se indica que los machos son por lo general más pesados que las hembras, a cualquier edad, y por lo general los machos son también los que presentan las mejores ganancias diarias de peso. Nelsen y Kress (1979) y Olson *et al.* (1985) cuantificaron una diferencia promedio de 2.5 kg para peso al nacer y alrededor de 15 kg para peso al destete en favor de los machos. Gotti y Benyshek (1988) encontraron que el sexo de la cría fue una fuente de variación

importante para la ganancia diaria de peso predestete; así, los machos tuvieron ganancias de peso diarias mayores que las hembras (.90 vs .85 kg).

La edad de la madre es también una fuente de variación importante sobre el crecimiento predestete de sus becerros. Se ha aceptado de forma general que la edad de la vaca al parto ejerce un efecto curvilíneo sobre características de crecimiento predestete. Es decir, en edades tempranas las madres paren crías livianas; cuando la madre tiene de cinco a nueve años de edad produce crías con los mayores pesos y después de esta edad las crías nuevamente son livianas. Lo anterior puede utilizarse como un criterio para determinar la edad de desecho de los vientres (Gregory *et al.*, 1979; Dillard *et al.*, 1980; DeNise *et al.*, 1988).

El efecto de año de nacimiento del animal involucra factores que son meramente ambientales (precipitación, temperatura, humedad, entre otros), impredecibles y que por lo regular difieren de un año a otro. El efecto de año ejerce una influencia directa sobre la disponibilidad y calidad de los forrajes, afectando indirectamente la producción de leche de la vaca y las características de crecimiento de la cría. La importancia del efecto de año en características de crecimiento de los becerros ha sido publicada por varios autores (Plasse, 1978; Navarro, 1994; Castro, 1995; Hernández, 1995; Núñez *et al.*, 1995b).

2.2. Efectos maternos

Dickerson (1969) sugirió que los efectos maternos pueden separarse en efectos de la madre y efectos de la abuela. Respecto a los efectos genéticos de la madre,

Willham (1980) señala que la madre juega un papel importante en la expresión de una determinada característica en su cría, ya que contribuye en dos maneras diferentes al valor fenotípico de su descendencia, con la mitad de sus genes y con su habilidad materna y lechera. Un efecto materno se define como un efecto contribuido al valor fenotípico de una cría por su madre. Los efectos maternos influyen principalmente en el comportamiento productivo de la cría hasta el destete; después de este período dichos efectos tienden a disminuir en importancia, dado que otros factores tales como el propio potencial genético del becerro para crecimiento y la disponibilidad y calidad de alimento, ejercen mayor influencia sobre el comportamiento productivo postdestete de las crías (Garrrick, 1990).

Los problemas más importantes que se encuentran para la estimación de los efectos maternos son al menos cinco (Willham, 1980):

- 1) La confusión entre el efecto materno y la contribución genética de la madre a su descendencia.
- 2) La posibilidad de que exista una correlación genética entre el efecto directo y el materno. Esta posibilidad es el problema más crítico en la estimación de los efectos maternos.
- 3) El efecto materno se expresa en una generación anterior a la generación en que se expresa el efecto directo; es decir, los efectos maternos se miden a través del comportamiento de la descendencia de la madre.
- 4) Los efectos maternos son limitados por el sexo y suceden de forma tardía en la vida de la hembra.
- 5) Los estudios de cruzamientos pueden evaluar los efectos maternos después de la generación F_1 en la mitad de los animales: las hembras.

La Figura 1 ilustra los problemas encontrados con los efectos maternos, en donde muestra como el fenotipo de la cría (P_x) está influenciado por el genotipo (G'_{ox}) y el ambiente (E_{ox}) de la cría y por el genotipo (G_{mw}) y el ambiente (E_{mw}) de la madre. La madre aporta la mitad de su efecto directo (G'_{ow}) al genotipo de la cría y la mitad de las características como madre (G_{mw}), que se expresarán en la cría cuando sea madre, si la cría es hembra (Dickerson, 1947, citado por Willham, 1980).

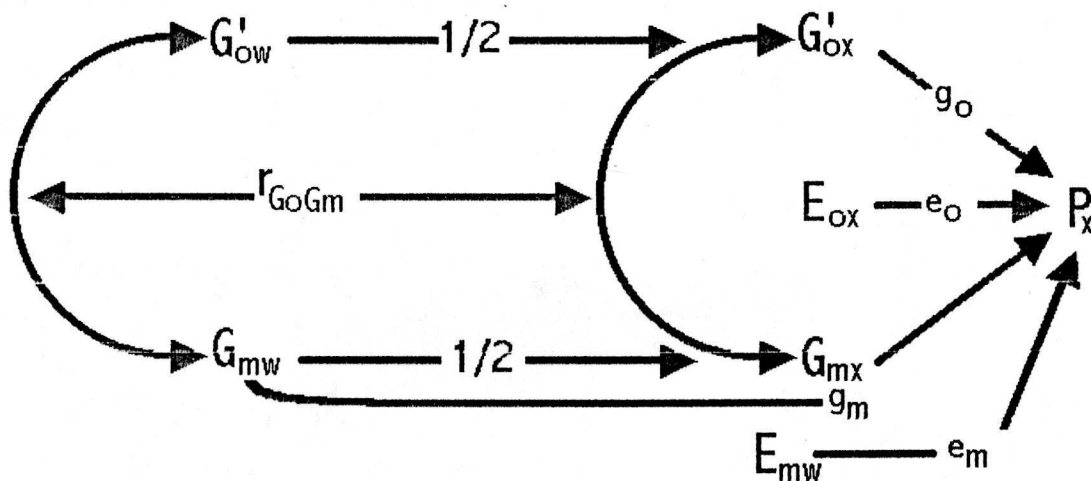


Figura 1. Diagrama de senderos que describe un valor fenotípico influenciado por un efecto materno (Dickerson, 1947; citado por Willham, 1980).

2.3. Heterosis

Sheridan (1981) menciona que la palabra "heterosis" fue propuesta por Shull en 1914, para describir el incremento en el vigor de los animales cruzados en relación con el de sus padres, independiente de la causa.

Según la definición original, heterosis es el fenómeno en el cual, para una determinada característica, el promedio de la progenie de cruza entre poblaciones de

líneas o razas puras es mayor o menor que el promedio de esas poblaciones para la misma característica (Willham, 1968; Pirchner, 1969); este efecto generalmente es mayor para características como viabilidad, crecimiento, producción de leche y fertilidad (Lasley, 1991). Cuando la heterosis es favorable se denomina vigor híbrido y se refiere al grado de superioridad del comportamiento de la progenie cruzada respecto a la progenie de raza pura (Warwick y Legates, 1984).

Willham (1970) menciona que el concepto de dominancia es descrito estadísticamente como una interacción y que la definición de heterosis es una definición de interacción, siendo ésta la falla de un modelo aditivo (incluyendo contribuciones de genes de las razas progenitoras) para predecir el comportamiento de animales cruzados. La epistasis o interacción entre genes no alélicos es un factor que también contribuye a la heterosis.

Los cruzamientos producen algunas consecuencias considerables, las cuales son la producción de heterosis, la oportunidad de incorporar material genético deseable rápidamente y la oportunidad de combinar varias características deseables para animales que van a salir al mercado. El factor principal involucrado en cada consecuencia es la diferencia genética medida a través de las diferencias en los grupos genéticos distintos (animales puros y sus cruza, es decir, los que van a salir al mercado). El grado de dominancia es importante en la producción de heterosis y en la combinación de varias características deseables (Willham, 1970).

Dickerson (1973) señala que los efectos genotípicos y fenotípicos del cruzamiento son opuestos a los de consanguinidad, ya que el cruzamiento tiende a

aumentar la heterocigosis, lo que brinda un incremento en la heterosis, pues el aumento de heterocigosis proporciona la base genética necesaria para la expresión de la heterosis (Legates y Warwick, 1992).

2.3.1. Tipos de heterosis

La heterosis se puede clasificar en individual, paterna y materna (Kress *et al.*, 1992) y se puede expresar en términos absolutos (kg, l, cm ó unidades, entre otras) o relativos como porcentaje de la media de las razas puras. La heterosis individual es la diferencia en comportamiento de un individuo híbrido en relación con la media de los animales puros, que no es atribuible a ningún efecto materno, paterno o ligado al sexo. La heterosis paterna se refiere a la diferencia en comportamiento de un animal proveniente de padres cruzados con relación a los animales provenientes de padres puros. La heterosis materna es la superioridad de un animal proveniente de madres cruzadas con relación a animales provenientes de madres de raza pura, cuando los padres de ambas progenies son de la misma raza (Cundiff *et al.*, 1974b; Marshall *et al.*, 1987).

2.3.2. Estimación de la heterosis materna

La estimación de la heterosis materna generalmente demora debido a que la expresión del comportamiento materno se mide en la descendencia de las madres (Willham, 1968; Garrick, 1990). Para estimar la heterosis materna se requiere separar las influencias maternas ambientales de las genéticas con las que la madre contribuye

a su descendencia (Willham, 1968). El mismo autor revisó tres diseños experimentales que pueden estimar la heterosis materna separada de la heterosis de las crías. Considere el siguiente modelo general propuesto por Dickerson (1969) al cual se le adiciona el término $r_i t_j$ propuesto por Willham (1968):

$$X_{ij} = \mu + \sum k_i g_i^l + \sum l_j g_j^M + \sum_{\substack{m_{ij} h_{ij}^l \\ i \neq j}} + \sum n_{ij} h_{ij}^M + r_i t_j$$

Donde:

X_{ij} = Valor medio fenotípico de un individuo del ij -ésimo grupo genético

μ = Media general de las razas involucradas en el estudio

k_i = Proporción del efecto genético individual de la raza i

g_i^l = Desviación esperada del promedio de los efectos genéticos directos de la raza i

l_j = Proporción del efecto genético materno de la raza j

g_j^M = Desviación esperada del promedio de los efectos a través del ambiente materno, por los genes del vientre de la raza j

m_{ij} = Proporción de la heterosis individual entre las razas i y j

h_{ij}^l = Desviación esperada por el incremento en el promedio de la heterocigosidad de cruas F_1 entre sementales de la raza i y vientres de la raza j ó recíprocas ($g_i^l \times g_j^l$)

n_{ij} = Proporción de la heterosis materna entre las razas i y j

h_{ij}^M = Desviación esperada por el incremento en el promedio de la heterocigosidad de vientres cruzados F_1 entre sementales de la raza i y vientres de la raza j ó recíprocas $g_i^M \times g_j^M$

r_{ij} = Proporción de la interacción del semental de la raza i y efecto materno del vientre de la raza j

t_{ij} = Interacción del semental de la raza i con efecto materno del vientre de la raza j

Para la estimación de la heterosis materna Willham (1968) menciona tres suposiciones:

Primera. El efecto promedio de los gametos producidos por un vientre cruzado es igual al promedio de los gametos producidos por los vientres puros correspondientes.

$$\text{Gametos A} + \text{Gametos B} = 2 \text{ gametos (AB)}$$

Segunda. La heterosis en la craza triple es igual a la heterosis en las cruzas simples.

$$2 h^I_{C,(AB)} = h^I_{C,A} + h^I_{C,B}$$

Tercera. No hay interacción entre la contribución del semental y el efecto materno del vientre.

$$2t_{C,(AB)} = t_{C,A} + t_{C,B}$$

Diseño I. En este diseño se utilizan sementales de raza pura. En el Cuadro 1 se pueden ver los apareamientos que se realizan para la estimación de la heterosis materna, con las razas que en el cuadro se indican; el diseño considera las tres suposiciones y la estimación de la heterosis materna para la craza A x B es como sigue:

$$h^M_{AB} = \frac{C.AB + C.BA - C.A - C.B}{2}$$

Cuadro 1. Apareamientos entre los machos y hembras (señalados con X) que se dan para el diseño I.

		Machos			
		A	B	C	D
Hembras	A ¹		X	X	X
	B	X		X	X
	C	X	X		X
	D	X	X	X	
	(AB)			X	X
	(AC)		X		X
	(AD)		X	X	
	(BC)	X			X
	(BD)	X		X	
	(CD)	X	X		

¹ Incluye las dos cruas recíprocas.

Diseño II. En este diseño se consideran, a diferencia del diseño I, sementales cruzados, también hembras cruzadas; en el Cuadro 2 se puede ver que los apareamientos utilizados incluyen todas las posibles retrocruzas con las razas que en el cuadro se indican. Para este diseño se considera sólo la tercera suposición, así, la estimación de la heterosis materna para la crusa A x B queda de la siguiente manera:

$$h_{AB}^M = \frac{A.AB + B.AB - AB.B - AB.A}{2}$$

Diseño III. En el Cuadro 2 se pueden ver los apareamientos que se deben de realizar para la estimación de la heterosis materna, en este diseño se consideran las tres suposiciones mencionadas al inicio de este capítulo, el diseño es el siguiente:

$$h_{AB}^M = \frac{A.BC + D.BC - AD.B - AD.C}{3}$$

Cuadro 2. Apareamientos que se tienen para el diseño II (+) involucrando retrocruzas y para el diseño III (X) involucrando genotipos cruzados.

		Machos									
		A	B	C	D	(AB)	(AC)	(AD)	(BC)	(BD)	(CD)
Hembras	A					+	+	+	X	X	X
	B					+	X	X	+	+	X
	C					X	+	X	+	X	+
	D					X	X	+	X	+	+
	(AB) ¹	+	+	X	X						
	(AC)	+	X	+	X						
	(AD)	+	X	X	+						
	(BC)	X	+	+	X						
	(BD)	X	+	X	+						
	(CD)	X	X	+	+						

¹ Incluye las dos cruza reciprocas.

2.3.3. Heterosis materna para características de crecimiento.

El peso al destete está influenciado en un 20 a 60% por el volumen de leche que consume el becerro y la correlación entre producción de leche y peso al destete varía entre 0.44 y 0.63, por lo que el peso al destete está en función parcial de la habilidad materna de la vaca, que se expresa a través del becerro (Ornelas, 1987). El componente genético para peso al destete de los becerros incluye el componente de la vaca para habilidad materna y un medio del genotipo aditivo de la vaca (Cunningham y Henderson, 1965; Robison *et al.*, 1978).

En el Cuadro 3 se presentan estimaciones de heterosis materna para peso al nacimiento, al destete, al año y peso al destete por vaca expuesta. Se puede observar que la heterosis materna para peso al nacimiento es positiva en la mayoría de los estudios, viéndose incrementada para el peso al destete, disminuida para el peso al año y siendo

menor aun para el peso después del año; lo anterior se debe a que la influencia de la madre sobre el crecimiento del becerro disminuye después del destete.

Cuadro 3. Porcentaje de heterosis materna para peso al nacer (PN), al destete (PD) y al año (PA) y peso al destete por vaca expuesta (PDVE) en ganado bovino para carne.

Autor	Genotipo	Característica (%)			
		PN	PD	PA	PDVE
Brinks <i>et al.</i> (1971)	5 Líneas de Hereford		3.50	1.70	
McDonald y Turner (1972)	AB ¹	-0.97	6.00*		
	ABa	3.90	3.40		
	AH	-0.74	3.30		
	BBa	6.20	8.60**		
	BH	-6.30*	11.00**		
	BaH	5.20	6.50*		
Parker <i>et al.</i> (1972)	HC	0.00 ³	5.00 ³		
Cundiff <i>et al.</i> (1974a)	HA				12.90*
	HT				12.70*
	AT				16.10**
Cundiff <i>et al.</i> (1974b)	AH	2.51*	4.21**		
	TH	2.27	6.76**		
	TA	0.15	2.04		
Koger <i>et al.</i> (1975)	BT		18.80*		
Olson <i>et al.</i> (1978)	HA		3.10	-0.73	
	HT		7.15	3.66	
	AT		2.42	1.07	
Alenda <i>et al.</i> (1980)	AC	1.62	5.90*		
	AH	-3.44	-0.45		
	CH	0.29	2.70		
Dillard <i>et al.</i> (1980)	Promedio ²	-0.30	2.04**		
Knapp <i>et al.</i> (1980)	HA	0.00*	3.40*		
	HC	1.80*	2.50**		

Cuadro 3. (Continuación)

Autor	Genotipo	Característica (%)			
		PN	PD	PA	PDVE
Dearborn <i>et al.</i> (1987)	RS	3.11	5.30**		9.20
	RH	3.20*	2.50**		9.50*
	RA	-1.37	-0.70		-2.00
	SH	2.10	6.60**		18.96**
	SA	1.20	2.10*		6.20
	HA	1.50	3.70**		4.90
Gregory <i>et al.</i> (1987)	RS			5.20*	
	RH			0.60	
	RA			-0.80	
	SH			0.30	
	SA			0.80	
	HA			0.20	
Kress <i>et al.</i> (1990)	HA	6.30	7.60		32.4
Cundiff <i>et al.</i> (1992)	HA	3.30**	4.98**		9.08*
	HT	4.84**	8.27**		14.58**
	AT	0.44	4.36**		15.40**
Kress <i>et al.</i> (1992)	HA	3.60	5.20		17.90

¹H=Hereford, C=Charolais, A=Angus, T=Shorthorn, S=Suizo Pardo, B=Brahman, Ba=Brangus, R=Red Poll.

²Involucrando H, C y A.

³Dato estadístico no reportado por el autor.

* (P < 0.05), ** (P < 0.01).

Para peso al nacimiento, independientemente de las razas utilizadas, las estimaciones para la heterosis materna variaron de -6.30 a 6.30%, aunque la mayor parte variaron de -0.74 a 3.90%. Se encontraron dos trabajos en donde utilizaron las razas Angus (A) y Suizo Pardo (S) (Dearborn *et al.*, 1987; Gregory *et al.*, 1987), los dos fueron realizados en Nebraska; los primeros autores utilizaron 549 hembras sin seleccionar las razas A, S, Hereford (H) y Red Poll (R), utilizando registros de 1973 a

1974 de un cruzamiento dialélico de cuatro razas y reportaron heterosis materna entre A y S para peso al nacimiento de 1.20%, para peso al destete de 2.10% y para peso al destete por vaca expuesta de 6.20%; mientras que Gregory *et al.* (1987) estimaron heterosis materna para características postdestete utilizando animales nacidos en 1979 y 1980, siendo 360 sementales y 329 vaquillas de las razas A, S, H y R, producto del apareamiento dialélico de las cuatro razas reportado por Dearborn *et al.* (1987) y publicaron heterosis materna para peso a los 14.50 meses de 0.80% y para ganancia diaria de peso postdestete de -1.00%.

La heterosis materna promedio (sin ponderación alguna) obtenida para peso al nacimiento de 10 estudios consultados (Cuadro 3) fue de 1.50%; cuando se consideraron cruzamientos involucrando la raza A, el promedio de ocho trabajos para heterosis materna fue 1.20%, mientras que en apareamientos utilizando la raza S el promedio fue 2.14%.

En los trabajos revisados con respecto a heterosis materna para peso al destete (Cuadro 3) las estimaciones fluctuaron de -0.70 a 18.80%; y el promedio de heterosis materna para peso al destete fue 4.85% en los 13 estudios; sin embargo, al tomar por separado las heterosis maternas donde involucran a la raza A la heterosis materna promedio para peso al destete fue de 3.60% y para las cruas conteniendo a la raza S el promedio fue de 4.67%.

En el Cuadro 3 se puede ver que las estimaciones de la heterosis materna para peso al año, se encuentran dentro de los límites -0.80 y 5.20%. El promedio general de estimaciones de la heterosis materna fue 1.03%; en las estimaciones que involucraron a la raza A el promedio fue de 0.11%, mientras que en las cruas que involucraron a la

raza S el promedio de heterosis materna para peso al año fue de 2.10%. Se puede ver que cuando se utiliza la raza S la heterosis se ve ligeramente incrementada.

Para peso al destete por vaca expuesta, en el Cuadro 3 se puede observar que los estudios reportan datos de heterosis materna generalmente positiva; exceptuando para una estimación de -2.00%, los valores de heterosis materna variaron entre 4.90 y 32.4%. El promedio de heterosis materna para peso al destete por vaca expuesta fue de 12.80%. Cuando se consideran los estudios con respecto a heterosis materna para esta característica en donde utilizan la raza A el promedio fue 12.70%, y cuando se incluyó la raza S el promedio fue de 11.50%.

En el Cuadro 3 se puede observar que las estimaciones de heterosis materna cuando se utiliza la raza S fueron mayores que cuando se utiliza la raza A, para todas las características analizadas, excepto para peso al destete por vaca expuesta, en cuyo caso fueron muy similares.

En el Cuadro 4 se pueden observar datos de heterosis materna para ganancias de peso predestete y postdestete y para características reproductivas como tasa de parto y de destete. Para ganancia de peso del nacimiento al destete las estimaciones de heterosis variaron de 0.02 a 7.70% y promediaron 3.50%, mientras que el promedio al considerar la raza A fue de 3.67%. Para ganancia de peso del destete al año y del año a los 18 meses sólo se encontró un estudio, siendo la heterosis materna de -2.90 y 3.60%, respectivamente (Brinks *et al.*, 1971), para el promedio de estimaciones en cinco líneas de Hereford.

Cuadro 4. Heterosis materna (%) para ganancia de peso del nacimiento al destete (GND), del destete al año (GDA), del año a los 18 meses (GA18M) y del destete a los 18 meses (GD18M), para ganancia diaria de peso postdestete (GDPP), y para tasas de pariciones (TP) y de destetes (TD).

Autor	Genotipo	Característica (%)						
		GND	GDA	GA18M	GD18M	GDPP	TP	TD
Brinks <i>et al.</i> (1971)	5 líneas de Hereford		-2.90	3.60	1.20			
Cundiff <i>et al.</i> (1974b)	HA ¹	4.60**						
	HT	7.70**						
	AT	2.40*						
Koger <i>et al.</i> (1975)	BT							16.60**
Olson <i>et al.</i> (1978)	HA					-3.55		
	HT					1.77		
	AT					-1.75		
Dillard <i>et al.</i> (1980)	Promedio ²	0.02**						
Knapp <i>et al.</i> (1980)	HA	4.00*						
	HC	2.30*						
Olson <i>et al.</i> (1985)	AS							13.00**
Gregory <i>et al.</i> (1987)	RS					9.20*		
	RH					0.70		
	RA					-4.50		
	SH					-4.70		
	SA					-1.00		
	HA					-2.70		
Kress <i>et al.</i> (1990)	HA						43.10	22.60
Cundiff <i>et al.</i> (1992)	Promedio ³							6.20*
Kress <i>et al.</i> (1992)	HA						11.30	10.40

¹H=Hereford, A=Angus, T=Shorthorn, S=Suizo Pardo, B=Brahman, R=Red Poll, C=Charolais.

²Involucrando H, C y A.

³Involucrando H, T y A.

* (P < 0.05), ** (P < 0.01).

Con relación a heterosis materna para ganancia diaria de peso postdestete los estudios encontrados muestran un rango de -4.70 a 9.20%, pero el promedio obtenido fue negativo (-0.70%) al igual que cuando se tiene por separado la heterosis materna

para ganancia diaria de peso postdestete entre la raza A y otra raza (-2.70%), mientras que el promedio de heterosis materna para la misma característica cuando se utiliza la raza S y otra raza, aunque es pequeña, es positiva (1.17%).

2.3.4. Heterosis materna para características reproductivas

La tasa de pariciones es útil para conocer el grado de fertilidad de un hato y puede medir las contribuciones tanto de la vaca como del semental en las diferentes fases del estado reproductivo. El efecto de raza es un factor importante que marca diferencias cuantitativas considerables para la tasa de pariciones, a lo largo de los años se han realizado diversas investigaciones que reportan diferentes valores para las razas de bovinos más explotados, las diferencias para una misma raza entre diferentes investigaciones se atribuyen a las condiciones ambientales específicas (Long, 1980). En el Cuadro 4 se muestran dos estudios de heterosis materna realizados por los mismos autores (Kress *et al.*, 1990, 1992) para tasa de pariciones entre las razas A y H, siendo los datos reportados de 43.10% cuando utilizaron 264 registros con datos obtenidos de 1978 a 1981 y de 11.30% cuando usaron 581 registros, con datos obtenidos de 1979 a 1984.

Para tasa de destetes, en el Cuadro 4 se muestran cinco trabajos, en donde las estimaciones de heterosis materna se encuentran dentro de los límites 6.20 y 22.60%; entre A y S la heterosis materna fue de 13.00% (Olson *et al.*, 1985). El promedio de heterosis materna para tasa de destetes fue de 13.76%; mientras que la heterosis materna para tasa de destetes cuando se utiliza la raza A tuvo un promedio de 15.30%, sin embargo, la heterosis materna cuando se utiliza la raza S fue de 13.00%. Se puede ver

que cuando se usó la raza A la heterosis materna fue mayor que cuando se utilizó la raza S.

2.4. Sistemas de cruzamiento

Existen muchas razas de ganado bovino de donde se puede elegir algunas de ellas para combinar características tanto productivas como reproductivas de acuerdo al interés que se persiga, pero para obtener un mejor provecho de los beneficios que aporte cada raza, existen diferentes sistemas de cruzamiento como son el rotacional, terminal, rotativo-terminal y de razas sintéticas, entre otros.

El cruzamiento se puede aplicar por cualquiera de las siguientes razones: para utilizar las diferencias en mérito genético entre razas, para sincronizar las características de comportamiento y adaptabilidad de los recursos raciales con las condiciones climáticas, de manejo y mercado, para aprovechar vigor híbrido, que hace a los animales cruzados más productivos que los progenitores; y para tomar ventaja de las buenas cualidades de dos o más razas con tipos diferentes en combinaciones complementarias (Legates y Warwick, 1992). Así, el cruzamiento permite aprovechar la heterosis, la combinación de características sobresalientes de diferentes razas para mejorar la adaptación y el comportamiento productivo de las cruas en determinados ambientes, y la complementariedad de las razas al usar determinadas razas como paternas o maternas en función de sus características (Núñez *et al.*, 1996).

Ponce de León (1985) señala que los efectos que se observan en el cruzamiento son mejores niveles productivos, es decir, existen cambios favorables en la media de la

población respecto a las poblaciones de raza pura, además una mayor resistencia a algunas enfermedades y mayor uniformidad de expresión en los rasgos, también se obtiene una reducción en la varianza de los caracteres medidos en los animales cruzados de líneas consanguíneas.

El cruzamiento de ganado para carne redonda en un nivel significativo de vigor híbrido para la mayoría de las características de producción incluyendo porcentaje de pariciones, supervivencia de los terneros, porcentaje de destetes, habilidad materna, velocidad de crecimiento y peso al destete. Los efectos combinados de estas respuestas dan como consecuencia un incremento en el índice de producción total que es de enorme importancia económica, que llega de un 10 a 20% para las cruas entre razas *Bos taurus* en ambientes favorables o de 30 a 50% para cruas *Bos indicus* x *Bos taurus* en condiciones climáticas desfavorables (Koger, 1976; Lasley, 1991). La ventaja del cruzamiento deriva en su mayor parte en el empleo de madres cruzadas o híbridas, estas tienen índices de destetes superiores y en términos generales habilidad materna superior (Koger, 1976).

Los cruzamientos entre especies, razas o líneas, pueden realizarse de una manera ordenada siguiendo esquemas de apareamiento específicos con el propósito de aprovechar mas eficientemente las ventajas en el uso de las diferencias genéticas aditivas entre los grupos genéticos y el uso de los diferentes tipos de heterosis. A continuación se describen las características de los principales sistemas de cruzamiento utilizados en bovinos para carne.

2.4.1. Sistemas de cruzamiento rotacional o alterno

El cruzamiento rotacional tiene la particularidad de que debe realizarse entre razas que presenten características de producción no muy diferentes, debido a que la composición racial fluctuaría de un grupo de vacas a otro y las generaciones sucesivas tendrían distintos requerimientos de manejo en la explotación en cuanto a características como peso al nacimiento, tamaño maduro, producción de leche y con el propósito de evitar problemas al parto y problemas asociados con alimentación y mercadeo de prole heterogénea, se busca que las razas involucradas tengan propósitos de producción similares. La fluctuación genética aditiva entre generaciones en un sistema de cruzamiento rotacional restringe tanto el uso que se podría hacer de las diferentes razas (varianza genética aditiva entre razas) para facilitar la adaptabilidad a ciertos ambientes, así como la posibilidad de aprovechar la complementariedad (Gregory y Cundiff, 1980; Ponce de León, 1985; Montaña, 1997).

Sistema de cruzamiento rotacional con dos razas. En este tipo de cruzamiento se alternan la raza del semental en cada generación de hembras (Montaña, 1997); es decir, las hembras de cierta raza pura A se aparean con sementales de otra raza B, produciendo prole cruzada BA, los machos son enviados al mercado y las hembras resultantes de este apareamiento se dividen en dos grupos, uno se aparea con sementales de la raza A y el otro con sementales de la raza B. A partir de estos apareamientos las hembras producidas en un grupo se usan como reemplazos en el otro; considerando las hembras de reemplazo BA, éstas son apareadas con machos de la raza A, las hembras que se utilicen como reemplazo producto de este apareamiento son apareadas con

sementales de la raza B, y las hembras producto de este nuevo apareamiento se cruzan con sementales de la raza A y así sucesivamente se va alternando la raza del semental (Koger, 1976; Gregory y Cundiff, 1980; Mujica y Tewolde, 1990; Legates y Warwick, 1992; Montaña, 1997).

La heterocigosidad, como porcentaje de la heterocigosidad máxima en la F_1 , para n razas en rotación una vez que se logra el equilibrio es de $(2^n - 2)/(2^n - 1)$ y para el caso de dos razas, después de siete generaciones la composición de la crusa se estabiliza en $2/3$ de la raza del semental y $1/3$ de la raza del abuelo materno aprovechándose un 67% de la heterosis individual y materna (Dickerson, 1969, 1973).

Este sistema tiene la ventaja de que en el mismo hato se producen las hembras de reemplazo, así como la simplicidad de operación ya que sólo se requieren potreros para dos tipos de servicio (sementales de la raza A y hembras hijas de sementales de la raza B, y sementales de la raza B y hembras hijas de sementales de la A) (Crockett, 1976; Koger, 1976; Gregory y Cundiff, 1980).

En cada generación la única inversión económica que se hará es la compra de semen o sementales puros o mantener parte del hato para la producción de estos sementales (Montero, 1995).

Si la diferencia entre las dos razas es grande, en cada generación se obtienen animales de tipo y niveles de producción muy diferentes, ésta es una gran desventaja, pues ofrece menores oportunidades de adaptación a los ambientes particulares, donde se originan, además existen problemas de manejo de una generación a la otra, como son problemas relacionados con alimentación (requerimientos nutricionales o de pastoreo),

pesos al nacimiento diferentes, así como diferente tamaño maduro de las crías y esto lleva a que se tenga prole heterogénea al momento que tenga la edad para ser enviada al mercado (Mujica y Tewolde, 1990).

Crockett *et al.* (1978) realizaron un estudio con cruzamientos rotativos de dos razas (utilizando las cruces de Brahman x Angus, y Brahman x Hereford) y reportaron altos niveles de heterosis por tres generaciones, siendo el promedio para peso al nacimiento de 14.5%, para peso al destete de 17.5%, para condición corporal 10.5%, y para producción anual/peso de la vaca de 24.5%.

Sistema de cruzamiento rotacional con tres razas. Este sistema funciona de manera similar que uno de dos razas, con la diferencia de que se tienen tres grupos de vacas en lugar de dos, los machos de la raza A se cruzan con hembras de la raza B y las hijas cruzadas se aparean con machos de la raza C, los machos resultantes de este apareamiento y las hembras que no se utilicen como reemplazos se envían al mercado (Montaño, 1997). En este tipo de cruzamiento se incrementa el uso de la heterosis materna e individual a 6/7 u 86% del máximo y después de siete generaciones la composición genética aditiva de la descendencia llega a un equilibrio con 57% del material genético aditivo a partir de la raza del semental, 29% a partir de la raza del abuelo materno y 14% proveniente de la raza de su bisabuelo materno (Dickerson, 1969, 1973; Legates y Warwick, 1992).

Dentro de las ventajas de los sistemas de cruzamiento rotacional, de manera general, se tiene que es relativamente fácil de seguir, los reemplazos se produce en el

sistema, además una gran proporción de la población reproductiva aprovecha tanto heterosis individual como materna (Gregory y Cundiff, 1980).

Una de las desventajas de los sistemas de cruzamiento rotativo, es que se requiere de mayor infraestructura (varios lotes, potreros o corrales) para realizar los apareamientos, por lo que para que estos esquemas funcionen adecuadamente, las vacas deben estar identificadas, aunque de manera sencilla, pero que permita determinar la raza del semental con que debe aparearse, en caso de que se utilice monta natural, se necesitan tantos potreros de empadre como razas de sementales se utilicen para el sistema de cruzamiento (Ponce de León, 1985; Montaña, 1997). Otras desventajas son que no se utiliza complementariedad (diferencia entre raza del semental y de la vaca) y la composición genética de los becerros fluctúa de una generación a otra (Gregory y Cundiff, 1980).

2.4.2. Sistemas de cruzamiento terminal

Los cruzamientos terminales son aquellos en los que toda la progenie del cruzamiento se destina al sacrificio y se vuelve a iniciar con el apareamiento entre una raza pura o cruce paterna y otra raza pura o cruce materna; la raza materna debe estar disponible y adaptada a las condiciones ambientales y de manejo, y tener habilidad lechera y reproductiva, mientras que la raza del macho debe ser sobresaliente para características de tasa de crecimiento, eficiencia de conversión alimenticia y de la canal; además, en estos sistemas de cruzamiento se maximizan el aprovechamiento de heterosis, el uso de la varianza genética aditiva y la complementariedad entre razas (Ponce de León, 1985).

Sistema de cruzamiento terminal de dos razas. En este sistema la madre de raza A es apareada con sementales de la raza B, sólo se produce la primera generación de descendientes F_1 y todos se envían al mercado. Este sistema es muy útil en situaciones en que las hembras de una raza específica están bien adaptadas a un ambiente dado, pero cuyos hijos requieren material hereditario de otra fuente para ser aptos para propósitos de engorda; en este sistema se aprovecha un máximo de heterosis individual (100%) y complementariedad, debido a que las razas del semental y de la madre son completamente distintas (Ponce de León, 1985; Legates y Warwick, 1992).

Sistema de cruzamiento terminal de tres razas. Este sistema consiste en usar vacas cruzadas F_1 , es decir, los machos de la raza A se aparean con hembras de la raza B, los hijos machos se sacrifican y las hembras o vacas cruzadas F_1 son apareadas con machos de una tercera raza C y toda la progenie se destina al mercado, de esta manera se aprovecha el 100% de la posible heterosis individual y materna y se puede aprovechar la complementariedad entre razas de manera más eficiente; además la heterosis materna es máxima porque las razas cruzadas para producir la línea materna no tienen una composición genética en común, la heterosis individual es máxima porque la línea materna no tiene composición genética común con la raza del semental terminal. Para el caso de la complementariedad, se hace un uso más eficiente en bovinos para carne, usando sementales de raza reconocida para capacidad de crecimiento, de tamaño grande y con buena calidad de la canal (raza paterna o terminal) que se aparean con vaca F_1 de tamaño grande y una alta producción de leche (raza materna), y todas las crías se envían

al mercado (Notter *et al.*, 1979; Ponce de León, 1985; Legates y Warwick, 1992; Montaña, 1997). Para establecer este sistema no se necesita mucha infraestructura, sin embargo, una gran desventaja es que se necesita contar con una fuente de hembras de reemplazo (Montaña, 1997).

Sistema de cruzamiento terminal de cuatro razas. Consiste en realizar apareamientos de la progenie de un cruzamiento terminal entre dos razas (A y B) con la progenie de un cruzamiento terminal (C y D). La característica de este sistema de cruzamiento es que las razas C y D son terminales y las A y B son maternas (Montero, 1995).

Una modificación de los sistemas de cruzamiento terminal son las retrocruzas, lo cual consiste en realizar apareamientos entre una raza A y B, las hembras AB, producto del apareamiento, se aparean con machos de una de las razas progenitoras y toda la progenie se destina al mercado. La ventaja de las retrocruzas es el aprovechamiento de la heterosis materna y una parte de la individual; las retrocruzas resultan útiles en situaciones donde se requiere la adaptación de una raza materna en particular y de las hembras cruzadas a un ambiente específico (Legates y Warwick, 1992).

De manera general, los sistemas de cruzamiento terminal utilizan al máximo la heterosis, además utilizan al máximo las diferencias entre razas maternas y paternas (complementariedad) y no requieren identificación individual de los animales.

La desventaja que existe en estos sistemas de cruzamiento es el suministro de hembras de reemplazo y que aun cuando dicha fuente sea confiable, el productor tiene

poco control de la calidad de las hembras, en caso de que no se cuente con una fuente lo suficientemente confiable, el productor tiene que destinar parte de los recursos para producir las hembras cruzadas de reemplazo, con la consiguiente reducción en la productividad global de la empresa y en la necesidad de una mejor infraestructura para mantener el esquema bajo control (Notter *et al.*, 1979; Montaña, 1997).

Otra desventaja es que en el sistema terminal de dos razas no se hace uso de la heterosis materna y tampoco de la paterna; en el sistema terminal de tres razas no se hace uso de la heterosis paterna.

2.4.3. Sistemas de cruzamiento rotacional-terminal

Los sistemas de cruzamiento rotacional-terminal son una combinación de cruzamientos rotacionales y terminales; en la porción rotacional del sistema se mantiene el número de vacas necesario para producir todas las hembras de reemplazo que se necesiten, el resto de las vacas se aparean con sementales de una raza terminal, de tal manera que se produzca la mayor cantidad de crías en la porción terminal, tratando de aprovechar los mejores rasgos de cada sistema (Montaña, 1997).

Sistema de cruzamiento rotacional-terminal de dos razas. Consiste en que en la parte rotacional (apareamiento rotacional entre las razas A y B), todas las crías machos son vendidas y todas las hembras son usadas para reemplazo del hato entero; pero de éstas las vacas más jóvenes son usadas como reemplazo en la parte rotacional, esto es con el propósito de disminuir la dificultad al parto en ganado bovino para carne

(Notter *et al.*, 1979) y las de mayor edad son usadas como reemplazo en la parte terminal, donde se aparean con sementales de raza terminal (TE), generalmente los toros son de raza más grande y con mayor potencial de crecimiento; toda la progenie producto de este apareamiento es vendida. Cabe aclarar que lo se busca es que se produzca la mayor cantidad de crías en la parte terminal del sistema (Montero, 1995; Montaña, 1997).

Sistema de cruzamiento rotacional-terminal de tres razas. En este sistema, en la parte rotacional, los sementales de la raza A son apareados con hembras de la raza B, dando como resultado crías AB, las crías machos son vendidas y las hembras son usadas como reemplazo, estas hembras AB son apareadas con sementales de una raza C, dentro de la parte rotativa del sistema. De las crías producto del apareamiento anterior (ABC), los machos son vendidos y las hembras son usadas como reemplazo en la parte terminal del sistema, siendo apareadas con sementales de una raza terminal (TE), y toda la progenie es destinada al mercado.

En ganado bovino la parte del cruzamiento rotacional programado apropiadamente, incluiría las vacas más jóvenes para minimizar la dificultad al parto, las vacas más viejas pasan a ser apareadas con toros de una raza terminal (Notter *et al.*, 1979).

De forma general los sistemas de cruzamiento rotacional-terminal combinan las ventajas del uso de la varianza genética aditiva entre razas, aportada por el sistema terminal, con las ventajas de altos niveles de heterosis los becerros expresan 100% de la

heterosis individual y las vacas expresan parte de la heterosis materna, además de que los reemplazos se producen en el sistema (aportados por el sistema de cruzamiento rotacional), todo lo anterior permite lograr la mayor eficiencia de producción en los hatos donde es posible utilizar este tipo de sistemas (Gregory y Cundiff, 1980; Montaña, 1997). Los costos de producción son minimizados y la eficiencia es maximizada en hatos en los cuales el sistema rotacional-terminal de cruzamiento es operacionalmente factible (Notter *et al.*, 1979). Montaña (1997) menciona que los sistemas de cruzamiento rotacional-terminales pueden reducir el punto de equilibrio de costos de producción en 4 ó 5% en relación con los sistemas rotacionales y 8 a 10% en relación con la producción en razas puras.

La principal desventaja de este sistema es su complejidad, se requiere de mayor infraestructura en comparación con otros sistemas, además es necesario un control sobre la generación a la que pertenecen los vientres y control sobre su edad (identificación de los animales). Montero (1995) utilizó el programa de cómputo ESIC (Núñez *et al.* 1996) para evaluar en forma integral el sistema de cruzamiento rotativo-terminal de dos razas para la característica peso al destete, considerando la siguiente información: las razas Angus y Hereford en el cruzamiento rotacional, y la raza terminal fue la Charolais; el peso promedio de los animales puros de 231 kg, 5000 vientres en la parte terminal del sistema de cruzamiento; 0.8 crías alcanzan la edad reproductiva por vientre expuesto al empadre; 25 vientres por semental; 16% de desecho en vientres; 33% de desecho en sementales; 50% de selección en machos; y 75% de selección en hembras. Consideró que los datos de heterosis específica y efectos genéticos fueron: 7.5 kg de heterosis

individual entre Angus y Hereford, 6.8 kg heterosis individual entre Angus y Charolais y 7.15 kg heterosis individual entre Hereford y Charolais; 4.6 kg de heterosis materna entre Angus y Hereford. Los efectos genéticos individuales fueron de 4 kg para la raza Angus, -13 kg para la Hereford y 9 kg para Charolais; los efectos genéticos maternos de 29.3 kg en la raza Angus, -10.4 kg para la Hereford y -18.9 kg para la Charolais, y la superioridad promedio de los sementales terminales en valor genético de 8 kg.

Los resultados del ejemplo de Montero (1995) son los siguientes: del total de vientres en el sistema un 43.6% está en la parte terminal, un 49.8% en la parte rotacional y un 6.6% en la parte dedicada a la producción de sementales. Después de restar la cantidad de hembras de reemplazo en el estrato rotacional se tendría el 39.74% de animales para la venta; en la parte terminal todas las crías producidas son para la venta, siendo 55.63% y de animales puros el 4.64%; las contribuciones de heterosis al comportamiento de las crías en la parte rotacional (Angus y Hereford) fue de 5 kg de heterosis individual y 3.07 kg de heterosis materna y en cuanto a efectos genéticos individuales y maternos fue de -4.5 y 9.45 kg, respectivamente; mientras que en la parte terminal (sementales Charolais y hembras Angus x Hereford) mostró 6.98 kg de heterosis individual y 3.07 kg de heterosis materna y para efectos genéticos individuales fue de 2.25 kg y maternos de 9.45 kg. Menciona también que el incremento total en el sistema resultó ser de 19.49 kg, lo que representa un 8.44% respecto al promedio de la característica en los progenitores puros de la población inicial.

En el ejemplo puede verse la reducción en el aprovechamiento de la heterosis individual y materna, y de los efectos genéticos aditivos individuales y maternos, al

analizar los sistemas de cruzamiento en forma integral, es decir tomando en cuenta la producción de reemplazos dentro del sistema; por lo tanto permite calcular el uso neto de las ventajas del cruzamiento.

2.4.4. Sistemas de cruzamiento de raza sintética

La formación de razas sintéticas consiste en el apareamiento *inter se* y selección intensiva de animales con cierta composición definida, esto es por varias generaciones. El uso de razas sintéticas permite aprovechar heterosis y diferencias genéticas entre razas, manteniendo una óptima composición genética aditiva racial (Dickerson, 1969, 1973). Con una cuidadosa selección al formar razas sintéticas, éstas pueden ser desarrolladas para ser adaptadas a una gran variedad de condiciones de alimentación y ambiente (Gregory y Cundiff, 1980).

La retención de la heterosigosidad inicial (F_1) después del cruzamiento y en subsecuentes montas aleatorias (*inter se*) dentro de las cruas, es proporcional a $(n-1)/n$, cuando las n razas contribuyen igualmente a la fundación de la raza sintética. Cuando las razas usadas en la fundación de una raza compuesta no contribuyen con la misma proporción, el porcentaje de la heterocigosidad máxima retenida es proporcional a $1 - \sum_i^n P_i^2$, donde P_i es la fracción de cada una de las n razas que contribuyen a la fundación de la raza compuesta (Dickerson, 1973). El uso de la varianza genética aditiva y no aditiva por las razas sintéticas es intermedia a aquél en sistemas de cruzamiento rotacionales o en sistemas terminales (Dickerson, 1973; Gregory y Cundiff, 1980).

Una raza sintética probablemente tenga una mayor variación genética y alcance un límite de selección más alto que las razas puras de las que se origina. Sin embargo, puede tomar muchos años para que la raza sintética supere a la mejor raza pura disponible bajo selección continua. Las mejoras en comportamiento obtenidas en los primeros años de formación de la nueva raza tienen más beneficios económicos que las obtenidas después, es decir, el desarrollo de una raza sintética programada para ser utilizada después de varios años, es difícil que sea económicamente eficiente (López, 1985b; Rico, 1985).

Las razas formadas por 5/8 (raza mejorada) y 3/8 (raza nativa, normalmente Cebú) para el caso del trópico han sido una base para la formación de razas sintéticas (Mujica y Tewolde, 1990).

Algunos ejemplos en el desarrollo de nuevas razas mediante la estabilización (cruzamiento *inter se*) entre diferentes proporciones de Holstein y Cebú en Cuba, son la raza Mambi, en donde la proporción que se estabilizó fue 3/4 Holstein y 1/4 Cebú y la raza Siboney con 5/8 Holstein y 3/8 Cebú. Otros ejemplos de razas sintéticas son la Bonsmara (5/8 Afrikander y 3/8 Shorthorn) en Africa del Sur; la Santa Gertrudis (5/8 Shorthorn y 3/8 Cebú), la Charbray (5/8 Charolais y 3/8 Brahman) y la Brangus (5/8 Angus y 3/8 Brahman) en Estados Unidos y la Chanchim (5/8 Charolais y 3/8 Cebú) en Brasil (Crockett, 1976; Plasse, 1976; López, 1985b; Rico, 1985).

La primer ventaja del uso de razas compuestas es que después de la etapa de la formación de la raza, la población tiene los mismos requerimiento de manejo que un hato puro, por lo que las razas compuestas pueden ser utilizadas por productores con

limitaciones en el tamaño del hato, número de potreros u otros recursos necesarios para manejar sistemas regulares de cruzamiento. En la formación de las poblaciones compuestas, se pueden usar razas que difieren ampliamente en características como tamaño, producción lechera y características de la canal, como las realizadas en Cuba (López, 1985a; Plasse, 1976).

Uno de los principales problemas que se presentan en la formación de razas sintéticas es cuando se trabaja con poblaciones pequeñas donde la consanguinidad puede aumentar rápidamente afectando de esta forma el comportamiento productivo (López, 1985a).

Las pérdidas de heterocigosidad ocurren entre las generaciones F_1 y F_2 , y si se evita la consanguinidad, no ocurren pérdidas adicionales de heterocigosidad en las poblaciones apareadas *inter se*. Sin embargo estas razas sufren comúnmente pérdidas parciales de heterosis a través del tiempo, como resultado de la consanguinidad acumulada en las razas, debido a que la mayoría se han iniciado con una base genética relativamente pequeña (Turton, 1981). Por otra parte, también es necesario considerar la utilización de sementales probados (López, 1985a).

HIPÓTESIS

Las crías hijas de las vacas cruzadas Angus x Suizo Pardo y Suizo Pardo x Angus, presentan un mejor comportamiento promedio para las características de crecimiento consideradas en este estudio, en comparación con las crías de las vacas Angus y Suizo Pardo. Las vacas Angus x Suizo Pardo y Suizo Pardo x Angus tienen un mejor comportamiento reproductivo que las vacas Angus y Suizo Pardo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización

El estudio utilizó información generada en el módulo de ganado bovino para carne de la Granja Experimental del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, localizada entre las coordenadas 19° 29' de Latitud Norte y 98° 53' de Longitud Oeste. El clima es de tipo C(Wo)(w)b(i')g, que corresponde a templado subhúmedo con un verano lluvioso, fresco y largo, y sequía en invierno, con poca oscilación térmica entre 5 y 7 °C y temperatura promedio anual de 15 °C, con precipitación promedio total anual de 644.8 mm y altitud de 2250 msnm (García, 1981).

3.2 Origen de la información

Este estudio es parte del proyecto "Evaluación de genotipos y estimación de heterosis en un cruzamiento entre Angus y Suizo Pardo" que inició en 1981 con la adquisición de 20 vaquillas Angus (A) provenientes de Zacatecas y 20 Suizo Pardo (S) provenientes de Veracruz. En la primer fase del proyecto, durante los primeros dos años, con el fin de aumentar el número de hembras reproductoras de raza pura, se realizaron apareamientos con sementales y vaquillas de la misma raza, mediante inseminación artificial; únicamente se desecharon vacas que no quedaron gestantes en dos años consecutivos y las que presentaron problemas físicos o de salud. La mayor parte del semen se adquirió en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y en la Compañía SEMEX de Canadá.

En la segunda fase, las hembras de raza pura A fueron inseminadas con semen de A y S y las vacas S fueron inseminadas con semen de A y S, para obtener animales puros así como las cruas recíprocas.

En la tercera fase, las hembras de cruas recíprocas y las de razas puras se inseminaron con semen de Simmental, con el propósito de eliminar el efecto paterno y estimar heterosis materna al tener todos los genotipos la misma raza del semental en común; es aquí donde toma parte el presente estudio, en el cual se utilizaron los datos de registros de producción de los animales del experimento en el periodo de 1986 a 1995.

3.3 Manejo de los animales

El manejo de los animales fue homogéneo a través de grupos genéticos. Al nacimiento, las crías se desinfectaban del ombligo, se tenía cuidado de que consumieran calostro en las primeras horas después del nacimiento y era registrado el peso tanto de la madre como de la cría dentro de las primeras 24 horas de vida. En las primeras semanas se realizaba el descorne y se identificaba con tatuaje y arete de plástico. La desparasitación externa se realizó cada año y la interna cada tres meses para todas las crías. Los becerros tuvieron acceso al alimento proporcionado a las madres, pero el consumo de sólidos empezó aproximadamente a partir de tres a cuatro meses de edad. El destete se realizó aproximadamente a los 180 días de edad. De 1981 a 1987, el manejo nutricional consistió de un sistema semiintensivo; las vacas pastorearon aproximadamente cuatro horas en praderas de alfalfa (*Medicago sativa*) asociada con

pasto orchard (*Dactylis glomerata*), y se suplementaron en corral con ensilado de maíz y concentrado. De 1988 a 1995 el sistema de alimentación fue intensivo, incluyendo ensilado de maíz, heno de alfalfa, y pequeñas cantidades de concentrado. El empadre se llevó a cabo mediante inseminación artificial utilizando al menos dos sementales de cada raza por año. De 1981 a 1985 el empadre se realizó durante todo el año, durante 1986, éste no se llevó a cabo con la finalidad de que a partir de 1987 y hasta 1995 se implementara un empadre estacional comprendiendo los meses de junio, julio y agosto. Las vacas que no quedaron preñadas en dos años consecutivos, así como aquellas con problemas físicos o de salud grave, se desecharon. La estimación de la producción de leche se obtuvo semanalmente hasta el destete (180 días), utilizando la técnica de pesaje de becerros antes y después del amamantamiento, que consistió en separar vacas y becerros por la tarde, y juntarlos por la mañana del día siguiente para muestrear la leche producida. Después del destete los animales eran llevados a corrales de engorda, registrando su peso mensualmente hasta los 18 meses de edad.

Variables respuesta

Con el fin de estimar la heterosis materna para características de crecimiento, reproductivas y productividad al destete las variables consideradas en el estudio fueron:

Características de crecimiento:

Peso al nacimiento (PN)

Peso al destete ajustado a 180 días (PD)

Peso al año ajustado (PA)

Peso a los 18 meses ajustado a 540 días (P18M)

Ganancia diaria de peso:

Del nacimiento al destete (GND)

Del destete al año (GDA)

Del año a los 18 meses (GA18M)

Del destete a los 18 meses (GD18M)

Del nacimiento a los 18 meses (GN18M)

Característica de productividad al destete:

Peso al destete por vaca expuesta al empadre (PDVE)

Características reproductivas:

Tasa de pariciones (TP)

Tasa de destetes (TD)

La tasa de pariciones es calculada con base en el número de hembras que entran al empadre, es decir, de 100 hembras que entraron al empadre cuántas llegaron a parir.

$$TP = \left(\frac{\text{Número de vacas que llegaron a parir}}{\text{Número de vacas que entraron al empadre}} \right) * 100$$

La tasa de destetes fue calculada, al igual que la tasa de pariciones, con base en el número de hembras que entraron al empadre, es decir, de 100 hembras que entraron al empadre cuántas llegaron a destetar una cría.

$$TD = \left(\frac{\text{Número de vacas que destetaron una cría}}{\text{Número de vacas que entraron al empadre}} \right) * 100$$

3.4. Manejo de datos

Los datos usados en este experimento fueron tomados de los registros existentes en el módulo de bovinos para carne, durante el periodo de 1986 a 1995. Para formar la base de datos se consideraron los genotipos de la vaca, del semental, de la cría, sexo de la cría, mes de nacimiento, año de nacimiento, número de parto de la vaca, mes de destete, año de destete, mes al cumplir un año la cría, año en que cumple la cría un año de edad, mes a los 18 meses de edad de la cría y año en que la cría cumple 18 meses de edad.

El número de datos con los que se analizó cada una de las variable respuesta se encuentra en el Anexo 1. Se puede ver que para las variables PA, P18M, GDA, GD18M, GA18M y GN18M se obtuvieron pocos datos, debido a que desafortunadamente no se localizaron algunos diarios o registros en el módulo.

Los PD, PA y P18M se ajustaron a 180, 365 y 540 días, respectivamente, con el propósito de eliminar la variabilidad causada por no tomar los pesos en el día correspondiente, el ajuste se obtuvo empleando la fórmula utilizada por Minyard y Dinkel (1965), la cual se fundamenta en el crecimiento individual de la siguiente forma:

$$PDA = \left(\frac{PD - PN}{EEND} \right) * 180 \text{ días} + PN$$

Donde:

PDA = Peso al destete ajustado a 180 días

PD = Peso al destete

PN = Peso al nacimiento

EEND = Intervalo de edad (días) entre la pesada al nacimiento y la pesada al destete

$$PAA = \left(\frac{PA - PD}{EEDA} \right) * 185 \text{ días} + PDA$$

Donde:

PAA = Peso al año ajustado a 365 días

PA = Peso al año

EEDA = Intervalo de edad (días) entre la pesada al destete y la pesada al año

$$P18MA = \left(\frac{P18M - PA}{EEAM} \right) * 175 + PAA$$

Donde:

P18MA = Peso a los 18 meses ajustado a 540 días

P18M = Peso a los 18 meses

EEAM = Intervalo de edad (días) entre la pesada al año y la pesada al los 18 meses

Posteriormente se procedió a preparar los datos para el análisis estadístico (eliminación de extremos y formación de clases), se eliminaron los datos extremos de la base de datos, por considerarse no representativos de la muestra poblacional, eliminando para cada variable aquellos valores que estuvieran fuera del intervalo formado por la media ± 2.5 desviaciones estándar; excepcionalmente algunos datos que gráficamente

(PROC CHART de SAS®, 1990) estaban muy cerca de estos límites se consideró que quedaban dentro de la población y no fueron eliminados.

Se formaron clases para los efectos de mes, año y número de parto para cada una de las variables tomando como criterio la frecuencia y la media con la finalidad de contar con suficientes observaciones en cada una de las clases y hacer más sencillo el análisis.

3.4.1. Análisis estadístico

Se realizó el análisis estadístico de los datos utilizando el procedimiento GLM del programa analítico SAS (1990) para las variables PN, PD, PA, P18M, GND, GDA, GA18M, GD18M, GN18M y PDVE.

a) Peso al nacimiento

Para peso al nacimiento, inicialmente el modelo incluyó los efectos fijos del genotipo de la vaca (G), mes de nacimiento (MN), año de nacimiento (AN), número de parto (NP), sexo de la cría (Z), así como todas las interacciones simples o de primer orden. Después de análisis preliminares las interacciones fueron eliminadas por no ser significativas ($P > 0.05$) y el modelo quedó como a continuación se muestra:

$$PN_{ijklmn} = \mu + G_i + Z_j + NP_k + MN_l + AN_m + E_{ijklmn}$$

Donde:

PN_{ijklm} = Peso al nacimiento

μ = Media poblacional

G_i = Efecto del i-ésimo genotipo de la vaca

Z_j = Efecto del j-ésimo sexo de la cría

NP_k = Efecto del k-ésimo número de parto de la vaca

MN_l = Efecto del l-ésimo mes de nacimiento de la cría

AN_m = Efecto del m-ésimo año de nacimiento de la cría

E_{ijklmn} = Error aleatorio $\sim NI(0, \sigma^2)$

De la misma forma que se procedió para PN se hizo para PD, PA, P18M, GND, GDA, GD18M, GA18M, GN18M, y PDVE. Los modelos finalmente quedaron de la siguiente manera:

b) Peso al destete

$$PD_{ijklmn} = \mu + G_i + Z_j + NP_k + MD_l + AD_m + E_{ijklmn}$$

Donde:

MD_l = Efecto del l-ésimo mes de destete de la cría

AD_m = Efecto del m-ésimo año de destete de la cría

c) Peso al año

$$PA_{ijklmn} = \mu + G_i + Z_j + NP_k + MA_l + AA_m + E_{ijklmn}$$

Donde:

MA_l = Efecto del l-ésimo mes al año de edad de la cría

AA_m = Efecto del m-ésimo año al año de edad de la cría

d) Peso a los 18 meses

$$P18M_{ijklmn} = \mu + G_i + Z_j + NP_k + M18M_l + A18M_m + E_{ijklmn}$$

Donde:

$M18M_l$ = Efecto del l-ésimo mes a los 18 meses de edad de la cría

$A18M_m$ = Efecto del m-ésimo año a los 18 meses de edad de la cría

e) Ganancia de peso del nacimiento al destete

$$GND_{ijklmn} = \mu + G_i + Z_j + NP_k + MD_l + AD_m + E_{ijklmn}$$

f) Ganancia de peso del destete al año

$$GDA_{ijklmn} = \mu + G_i + Z_j + NP_k + MA_l + AA_m + E_{ijklmn}$$

g) Ganancia de peso del año a los 18 meses

$$GA18M_{ijklmn} = \mu + G_i + Z_j + NP_k + M18M_l + A18M_m + E_{ijklmn}$$

h) Ganancia de peso del destete a los 18 meses

$$GD18M_{ijklmn} = \mu + G_i + Z_j + NP_k + M18M_l + A18M_m + E_{ijklmn}$$

i) Ganancia de peso del nacimiento a los 18 meses

$$GN18M_{ijklmn} = \mu + G_i + Z_j + NP_k + M18M_l + A18M_m + E_{ijklmn}$$

j) Peso al destete por vaca expuesta

Inicialmente los elementos del modelo fueron G, Z, MD, AD, ED y las interacciones de primer orden, pero las interacciones no fueron significativas ($P > 0.05$) y fueron removidas del modelo, por lo que éste quedó finalmente como sigue:

$$PDVE_{ijk} = \mu + G_i + AD_j + \beta_I(ED) + \beta_{II}(ED^2) + E_{ijk}$$

Donde:

$PDVE_{ijk}$ = Peso al destete por vaca expuesta

ED = Edad de la vaca al destete de su cría (en meses), como covariable

β_I = Coeficiente de regresión lineal asociado con la edad de la vaca al destete de su cría (en meses)

β_{II} = Coeficiente de regresión cuadrática asociado con el cuadrado de la edad de la vaca al destete de su cría (en meses)

Las variables tasa de pariciones y destetes se analizaron utilizando regresión logística mediante el procedimiento CATMOD de SAS® (1990). Después de eliminar los efectos que no presentaron diferencia significativa ($P > 0.05$), el modelo estadístico para tasa de pariciones quedó de la siguiente forma:

$$TP_{ijkl} = \frac{e^{\mu + \beta_1 P_1 + \beta_2 P_2 + \beta_3 P_3 + \beta_4 (EP) + \beta_{44} (EP^2)}}{1 + e^{\mu + \beta_1 P_1 + \beta_2 P_2 + \beta_3 P_3 + \beta_4 (EP) + \beta_{44} (EP^2)}}$$

Donde :

TP_{ijkl} = Probabilidad de porcentaje de pariciones para el i-ésimo genotipo de la vaca a determinada edad de parto de las vacas

- μ = Media general de tasa de pariciones
- e = Base de los logaritmos naturales (2.718281)
- P_1, P_2 y P_3 = Variables indicadoras para codificar al genotipo de la vaca
- β_1, β_2 , y β_3 = Coeficientes de regresión lineal asociados con las variables P_1 , P_2 y P_3 , respectivamente
- EP = Edad de la vaca al parto (en meses), como covariable
- β_4 = Coeficiente de regresión lineal asociado con edad de la vaca al parto
- β_{44} = Coeficiente de regresión cuadrática asociado con el cuadrado de la edad de la vaca al parto

El efecto del genotipo se codificó mediante variables indicadoras P_1 , P_2 y P_3 considerando los grados de libertad, como se muestra a continuación:

Genotipo	Variables indicadoras		
	P1	P2	P3
A	0	0	0
S	1	0	0
AS	0	1	0
SA	0	0	1

Mediante regresión logística, se obtuvieron los estimadores de los componentes del modelo, los cuales se sustituyeron en el modelo que se mostró anteriormente, para conocer la probabilidad de tasa de pariciones a una edad promedio de la vaca al parto.

Para la tasa de destetes, se realizó de la misma manera que para tasa de pariciones con las variables indicadoras D1, D2 y D3, quedando el modelo de la siguiente manera:

$$TD_{ijkl} = \frac{e^{\mu + \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 + \beta_3 D_3 + \beta_4 (ED) + \beta_{44} (ED)^2}}{1 + e^{\mu + \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 + \beta_3 D_3 + \beta_4 (ED) + \beta_{44} (ED)^2}}$$

Donde:

TD_{ijkl} = Probabilidad de porcentaje de destetes para el i-ésimo genotipo de la vaca a determinada edad en que la vaca desteta

3.4.2. Análisis genético

Modelo genético. Con el propósito de estimar heterosis materna se presentan los siguientes modelos derivados del modelo general propuesto por Dickerson (1969).

Modelo general:

$$X_{ij} = \mu + \sum k_i g_i^I + \sum t_j g_j^M + \underbrace{\sum n_{ij} h_{ij}^I + \sum r_{ij} h_{ij}^M}_{i \neq j}$$

Donde:

X_{ij} = Valor medio fenotípico de un individuo del ij-ésimo grupo genético

μ = Media general de las razas involucradas en el estudio

k_i = Proporción del efecto genético individual de la raza i

t_j = Proporción del efecto genético materno de la raza j

n_{ij} = Proporción de la heterosis individual entre las razas i y j

r_{ij} = Proporción de la heterosis materna entre las razas i y j

g_i^I = Desviación esperada del promedio de los efectos genéticos directos de la raza i.

g_j^M = Desviación esperada del promedio de los efectos a través del ambiente materno, por los genes del vientre de la raza j

h_{ij}^I = Desviación esperada por el incremento en el promedio de la heterocigosidad de cruza F_1 entre sementales de la raza i y vientres de la raza j ó recíprocas.

h_{ij}^M = Desviación esperada por el incremento en el promedio de la heterocigosidad de vientres cruzados F_1 entre sementales de la raza i y vientres de la raza j ó recíprocas.

Modelos para los genotipos de las crías consideradas en el estudio:

$$IA = \mu + \frac{1}{2} g_I^I + \frac{1}{2} g_A^I + g_A^M + h_{IA}^I$$

$$IS = \mu + \frac{1}{2} g_I^I + \frac{1}{2} g_S^I + g_S^M + h_{IS}^I$$

$$I(AS) = \mu + \frac{1}{2} g_I^I + \frac{1}{4} g_A^I + \frac{1}{4} g_S^I + \frac{1}{2} g_A^M + \frac{1}{2} g_S^M + \frac{1}{2} h_{IA}^I + \frac{1}{2} h_{IS}^I + h_{AS}^M$$

$$I(SA) = \mu + \frac{1}{2} g_I^I + \frac{1}{4} g_S^I + \frac{1}{4} g_A^I + \frac{1}{2} g_S^M + \frac{1}{2} g_A^M + \frac{1}{2} h_{IS}^I + \frac{1}{2} h_{IA}^I + h_{SA}^M$$

Donde:

A = Angus

S = Suizo Pardo

I = Simmental

g^I = Efecto genético individual

g^M = Efecto genético materno

h^I = Heterosis individual

h^M = Heterosis materna

El siguiente contraste se utilizó para estimar la heterosis materna entre bovinos A y S (h^M_{AS}):

$$h^M_{AS} = \left[\frac{I(AS) + I(SA) - IA - IS}{2} \right]$$

La heterosis se puede calcular tanto en términos absolutos como relativos, la primera forma es como se mostró anteriormente; para obtener la heterosis en términos relativos (porcentaje) se usó la siguiente fórmula:

$$h^M_{AS} = \left[\frac{I(AS) + I(SA) - IA - IS}{IA + IS} \right] * (100)$$

3.4.3. Comparación de los sistemas de cruzamiento

Se realizó la comparación de los sistemas de cruzamiento de razas puras (A y A), rotativo de dos razas (Rot AS) y terminal de dos razas (A x P y P x A) para peso al destete y peso a los 18 meses y tasa de destetes, mediante el programa ESIC (Núñez *et al.*, 1996). Los datos que se utilizaron son los obtenidos en el proyecto de Evaluación de Genotipos y Estimación de Heterosis en un Cruzamiento entre Angus y Suizo Pardo, mismos que se indican a continuación:

Para peso al destete:

Efectos genéticos directos: $g_{\Lambda}^I = 2.11$ kg (Flores y Domínguez, 1990)

Efectos genéticos maternos: $g_{\Lambda}^M = -7.75$ kg (Flores y Domínguez, 1990)

Heterosis individual: $h_{\Lambda S}^I = 2.24$ kg (Flores y Domínguez, 1990)

Heterosis materna: $h_{\Lambda S}^M = 2.35$ kg, dato obtenido en este trabajo

Peso promedio de los animales puros: 166.4 kg

Para peso a los 18 meses:

Efectos genéticos directos: $g_{\Lambda}^I = 18.90$ kg (Hernández, 1995)

Efectos genéticos maternos: $g_{\Lambda}^M = -17.40$ kg (Hernández, 1995)

Heterosis individual: $h_{\Lambda S}^I = 25.90$ kg (Hernández, 1995)

Heterosis materna: $h_{\Lambda S}^M = -5.94$ kg, dato obtenido en este trabajo

Peso promedio de los animales puros: 389.6 kg

Para tasa de destetes se estimaron los siguientes datos:

Efectos genéticos directos: $g_{\Lambda}^I = 6.0\%$

Efectos genéticos maternos: $g_{\Lambda}^M = -2.0\%$

Heterosis individual: $h_{\Lambda S}^I = 2.2\%$ (Dearborn *et al.*, 1987). Dado que este dato no fue estimado en trabajos previos se tomó de la literatura

Heterosis materna: $h_{\Lambda S}^M = 13.0\%$, dato obtenido en este trabajo

Tasa de destetes promedio de los animales puros: 57.0%.

Suposiciones adicionales:

Tasa reproductiva: 0.8

Proporción hembras:macho: 25

Desecho anual de vientres: 16%

Desecho anual de sementales: 33%

Porcentaje de selección en machos: 50%

Porcentaje de selección en hembras: 75%

Para el sistema de cruzamiento terminal, la contribución de machos terminales

(superioridad promedio en kg): 0 kg

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características predestete

4.1.1. Peso al nacimiento

En el análisis de varianza (Anexo 2) para esta característica, se observaron efectos significativos ($P < 0.05$) de genotipo de la vaca, sexo de la cría y año de parto. Respecto a los efectos ambientales sólo el de sexo de la cría se discutirá al final del capítulo, dado que para el resto de los factores se formaron subclases y sólo interesa corregir por esas fuentes de variación.

Las medias de cuadrados mínimos para peso al nacimiento (PN), al destete (PD), al año (PA) y a los 18 meses (P18M) por genotipo de la vaca, así como las estimaciones de heterosis materna respectivas, se muestran en el Cuadro 5. Las vacas Angus x Suizo Pardo (AS) produjeron becerros con los mayores pesos al nacimiento, y superaron en 4.42 kg a los becerros hijos de vacas Angus (A).

Cuadro 5. Medias de cuadrados mínimos (kg) y heterosis materna para peso al nacimiento (PN), al destete (PD), al año (PA) y a los 18 meses (P18M), y peso al destete por vaca expuesta (PDVE) por genotipo de la vaca.

Genotipo de la Vaca	PN	PD	PA	P18M	PDVE
Angus (A)	35.82±0.82	161.55±3.66	289.60±13.50	403.46±18.22	121.09±9.03
Suizo Pardo (S)	40.12±1.00	171.18±4.44	293.78±19.49	375.67±28.49	113.62±10.92
AS	40.24±0.85	168.16±3.63	266.33±8.42	383.87±13.18	130.14±9.89
SA	37.28±0.78	169.27±3.33	269.14±7.10	383.37±10.89	120.66±8.32
Heterosis kg	0.791±0.78	2.35±3.39	-23.95±13.74	-5.94±19.52	8.04±9.46
Materna %	2.08	1.41	-8.21	-5.53	6.85
Prob.	0.3087	0.4890	0.0851	0.7617	0.3958

La media general obtenida para peso al nacimiento es de 37.0 kg (Anexo 2) y las medias de cuadrados mínimos (Cuadro 5) muestran que son parecidos los pesos entre

los genotipos A y SA, al igual que entre S y AS; sin embargo existen 3.7 kg de diferencia en promedio entre el primer par de genotipos y el segundo. Marlowe *et al.* (1984) obtuvieron un peso al nacimiento para A de 28.8 kg, siendo menor a lo que se encontró en este estudio. Mientras que Gregory *et al.* (1991) reportan un peso al nacimiento para A de 31.5 kg, lo cual es más cercano a lo que se encontró en el presente trabajo. Por otra parte Ornelas (1982), Escudero (1981) y Rivera (1988) encontraron pesos para S de 37.11 ± 0.33 , 33.22 ± 4.92 y 35.9 respectivamente, lo cual es un poco menor a lo obtenido en el presente trabajo, pero hay que considerar que esos trabajos se llevaron a cabo en otras condiciones ambientales.

La estimación de heterosis materna para peso al nacimiento no fue diferente de cero ($P = 0.31$); sin embargo, la estimación fue de 791 g, por lo que se puede decir que las crías hijas de madres cruzadas, AS y SA, tendieron a pesar más que las crías hijas de madres de raza pura, A y S. Hay que recordar que si el peso de la cría al nacimiento es muy grande, puede causar problemas de distocia, pero también debe considerarse el tamaño de la vaca, pues vacas de raza grande tienden a producir crías pesadas, debido a la relación que tiene el tamaño de la vaca con su capacidad uterina (Chowdhary y Barht, 1979); por lo tanto, generalmente es conveniente que los pesos al nacimiento no se modifiquen a causa de estrategias de mejoramiento genético.

La heterosis materna para peso al nacimiento obtenida en el presente estudio es de 2.08% ($P < 0.30$), lo que indica que las madres cruzadas (AS y SA) tendieron a proporcionar un mayor peso en sus crías, en comparación con las madres de raza pura.

Dearborn *et al.* (1987) evaluaron las mismas razas que se utilizaron en el presente trabajo (A y S), obteniendo un 0.8% menos de heterosis materna para peso al nacimiento que lo que se encontró en el presente trabajo, pero la estimación también no fue diferente de cero ($P > 0.05$).

Como son escasos los trabajos en los que se ha realizado la estimación de heterosis materna entre las razas A y S, en la discusión de los resultados para las diferentes características, se considerarán estudios de heterosis materna entre la raza A y otra raza o entre S y otra raza.

Estimaciones de heterosis materna para peso al nacimiento que fueron estadísticamente iguales a cero (Cuadro 3) y que involucran a la raza A o S, fueron reportados por McDonald y Turner (1972), Cundiff *et al.* (1974b, 1992), Alenda *et al.* (1980), Dillard *et al.* (1980), Dearborn *et al.* (1987) y Kress *et al.* (1990, 1992).

Por otra parte, muy pocos resultados diferentes a los del presente trabajo, en donde la heterosis materna involucrando la raza A o S para peso al nacimiento fue estadísticamente mayor que cero ($P < 0.05$) fueron publicados por Cundiff *et al.* (1974b, 1992) para la cruce A x Hereford (H).

Como se puede observar los datos de heterosis materna que se encontraron en el presente estudio están dentro del rango de los datos de estudios realizados en E.U.A.

4.1.2. Peso al destete

Para peso al destete, en el análisis de varianza (Anexo 3) se observó que existe diferencia significativa ($P < 0.05$) para los efectos de sexo de la cría, mes y año de

destete, sin embargo para los efectos de genotipo de la vaca y número de parto no hubo diferencia significativa ($P > 0.05$).

La media general para PD es de 168.2 kg (Anexo 3) y la media de cuadrados mínimos (Cuadro 5) muestra que las vacas de raza S produjeron becerros con los mayores pesos al destete, presentando 9.6 kg más que los becerros hijos de las vacas de raza A, que fueron las que mostraron los menores pesos al destete.

Las medias de cuadrados mínimos (Cuadro 5) muestran que de los cuatro genotipos (A, S AS, SA) el peso al destete de la raza Angus es inferior, esto puede deberse a que el tamaño de la raza A es menor al de la S.

Los pesos al destete para S encontrados en el presente trabajo fueron mayores a los reportados por Escudero (1981) y Rivera (1988) bajo condiciones tropicales. El primer autor encontró bajo pastoreo pesos al destete de 112.8 ± 17.4 kg, en tanto que Rivera (1988) reportó un peso al destete de 228 kg a los 365 días. Cabe destacar que tomando en cuenta la ganancia diaria de peso predestete reportada por este último autor (0.70 kg) es posible estimar que el peso a los 180 días debió ser 126 kg, lo cual es menor a lo obtenido en el presente trabajo.

El peso al destete es una característica que está influenciada por el ambiente de la madre, entonces, un mayor peso al destete puede ser resultado de un mayor consumo de leche al presentar la madre una considerable producción de la misma.

La heterosis materna para peso al destete no fue diferente de cero ($P = 0.49$); sin embargo, el resultado fue positivo, por lo que se puede decir que las crías hijas de madres cruzadas presentan en promedio 2.35 kg más de peso al destete que las crías hijas de madres de raza pura (Cuadro 5).

La heterosis materna para PD obtenida en el presente estudio es menor a la publicada por Dearborn *et al.* (1987) (2.1%) en un estudio que realizaron utilizando también las razas A y S en Nebraska, E.U.A., pero ellos sí encontraron efecto significativo ($P < 0.05$). De todas las heterosis maternas para PD que reportan los estudios revisados que consideran alguna de las dos raza A ó S, ésta es la más parecida a la obtenida en el presente estudio.

Dentro de los trabajos en los que tampoco se observó efecto significativo ($P > 0.05$), como ocurrió en el presente estudio, se encuentran los de McDonald y Turner (1972), Cundiff *et al.* (1974b), Olson *et al.* (1978), Alenda *et al.* (1980), Dearborn *et al.* (1987) y Kress *et al.* (1992), (Cuadro 3).

Existen trabajos en donde estimaron heterosis materna para peso al destete (Cuadro 3) que incluyen a la raza A o S y son diferentes al presente estudio, pues muestran efecto significativo ($P < 0.05$), siendo publicados por McDonald y Turner (1972), Cundiff *et al.* (1974b, 1992), Alenda *et al.* (1980), Dillard *et al.* (1980), Knapp *et al.* (1980) y Dearborn *et al.* (1987).

4.2. Características postdestete

4.2.1. Peso al año

En el análisis de varianza para peso al año (Anexo 4), los efectos sexo de la cría y año de nacimiento de la cría resultaron significativos ($P < 0.05$) en tanto que los efectos de genotipo de la vaca, número de parto y mes de parto resultaron no significativos ($P > 0.05$).

La media general para peso al año fue de 269.7 kg (Anexo 4) y las medias de cuadrados mínimos (Cuadro 5) muestran que de las razas puras los becerros de madres S presentaron mayor peso, y dentro de las cruzadas las crías de madres SA fueron las que presentaron mayor peso.

Para peso al año se obtuvo -8.2% ($P < 0.09$) de heterosis materna, por lo que se puede decir que existe una tendencia a que las crías hijas de madres de raza pura en promedio son las que muestran mayores pesos al año.

Gregory *et al.* (1987) reportan en un estudio en donde incluyeron a las razas A y S heterosis materna para peso al año positiva, pero la estimación tampoco resultó ser diferente de cero ($P > 0.05$).

En algunos estudios en donde consideran a la raza A o S para estimar heterosis materna para peso al año, como los publicados por Olson *et al.* (1978) y Gregory *et al.* (1987) obtuvieron heterosis materna negativa, pero tampoco encontraron efecto significativo ($P > 0.05$).

Por otra parte, Gregory *et al.* (1987) obtuvieron heterosis materna positiva para peso al año al combinar las razas S y Red Poll (R) con efecto significativo ($P < 0.05$). Cabe aclarar que es entre las únicas razas en las que se muestra efecto significativo y es de los estudios consultados que reporta la heterosis materna más grande para peso al año (Cuadro 3).

4.2.2. Peso a los 18 meses

Para peso a los 18 meses en el análisis de varianza (Anexo 5) los efectos sexo de la cría y año de nacimiento de la misma resultaron significativos ($P < 0.05$), mientras

que los efectos de genotipo de la vaca, número y mes de parto resultaron no significativos ($P > 0.05$).

La media general para peso a los 18 meses fue de 376.9 kg (Anexos 5) y las medias de cuadrados mínimos (Cuadro 5) muestran que las crías de madres de raza pura A presentaron el mayor peso para la característica en cuestión y las crías de madres de raza S el menor, existiendo 27.8 kg de diferencia numérica entre éstas, mientras que las crías de madres cruzadas AS y SA muestran pesos muy parecidos.

La estimación de heterosis materna para peso a los 18 meses no fue diferente de cero ($P = 0.76$), la estimación fue de -5.5% , lo que indica que en promedio las crías hijas de madres de raza pura presentan una ventaja de 6 kg más de peso a los 18 meses.

Para peso a los 18 meses Brinks *et al.* (1971) usando cinco líneas de H obtuvieron un promedio de heterosis materna de 2.3% , pero estadísticamente ésta estimación no fue diferente de cero ($P > 0.05$).

4.3. Ganancias de peso

4.3.1. Ganancia de peso del nacimiento al destete

En el análisis de varianza (Anexo 6) para esta característica, se observaron efectos altamente significativos ($P < 0.01$) para sexo de la cría, mes y año de destete.

La media general fue de 131.2 kg (Anexo 6) considerando un período entre el nacimiento y el destete de 180 días. Las medias de cuadrados mínimos para ganancia de peso del nacimiento al destete (GND), del destete al año (GDA), del año a los 18 meses (GA18M), del destete a los 18 meses (GD18M) y del nacimiento a los 18 meses

(GN18M) por genotipo de la vaca, así como las estimaciones de heterosis materna respectivas, se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Medias de cuadrados mínimos (kg) y heterosis materna para ganancia de peso del nacimiento al destete (GND), del destete al año (GDA), del año a los 18 meses (GA18M), del destete a los 18 meses (GD18M) y del nacimiento a los 18 meses (GN18M) por genotipo de la vaca.

Genotipo de la Vaca		GND	GDA	GA18M	GD18M	GN18M
Angus(A)		123.38 ± 3.25	130.84 ± 10.60	112.97 ± 9.52	213.84 ± 16.64	364.54 ± 19.77
Suizo Pardo(S)		127.41 ± 3.90	122.36 ± 14.17	92.91 ± 14.08	170.56 ± 23.08	330.54 ± 27.34
AS		125.43 ± 3.31	111.15 ± 6.38	110.12 ± 7.48	187.30 ± 11.19	323.11 ± 12.93
SA		128.98 ± 3.04	118.34 ± 5.48	98.13 ± 6.27	192.45 ± 9.75	336.61 ± 11.55
Heterosis Materna	kg	1.81 ± 3.02	-11.85 ± 9.75	1.19 ± 8.69	-2.33 ± 15.45	-17.68 ± 18.18
	%	1.44	-9.36	1.15	-1.21	-5.09
	Prob.	0.5498	0.2279	0.8917	0.8807	0.3344

En cuanto a la media de cuadrados mínimos para ganancia de peso del nacimiento al destete se puede observar que las crías de las vacas SA tendieron a presentar mayor ganancia con 129.0 kg, seguida de las de S con 127.4 kg, las de AS con 125.4 y al final las de A con 123.3 kg (Cuadro 6). Marlowe *et al.* (1984) mencionan que la ganancia diaria de peso que obtuvieron para la raza A fue de 0.76 kg, entonces si el destete lo realizaran a los 180 días como en el presente trabajo obtendrían 108 kg de ganancia de peso del nacimiento al destete, lo cual es menor en 15.3 kg a lo que se encontró en le presente estudio.

La heterosis materna para ganancia de peso del nacimiento al destete, aunque no fue diferente de cero ($P = 0.55$) fue positiva, pues las crías de vacas cruzadas presentaron en promedio 1.8 kg más que las de vacas de raza pura, con 1.44% de heterosis materna (Cuadro 6). Algunos autores han publicado trabajos realizados en E.U.A. en donde han encontrado heterosis materna para ganancia de peso del

nacimiento al destete mayor a la que se obtuvo en este trabajo cuando utilizaron la raza A como es el publicado por Cundiff *et al.* (1974b) con las razas A y H reportaron heterosis materna de 4.6% ($P < 0.01$) y para A y Shorthorn (T) de 2.4% ($P < 0.05$) y Knapp *et al.* (1980) también con las razas A y H obtuvieron 4% ($P < 0.05$) de heterosis materna.

Por su parte Dillar *et al.* (1980) al considerar las razas A, H y Charolais (C) obtuvieron un promedio de heterosis para ganancia diaria del nacimiento al destete de 0.02 kg ($P < 0.01$).

4.3.2. Ganancia de peso del destete al año

De forma general, se puede ver que respecto a la ganancia de peso postdestete la heterosis materna tendió a ser negativa ($P = 0.23$), lo cual indica una tendencia a que las crías hijas de vacas de raza pura presentan mayor ganancia que las crías hijas de vacas cruzadas.

En el análisis de varianza para ganancia de peso del destete al año (Anexo 7) se muestra que los efectos de sexo de la cría ($P < 0.06$) y año ($P < 0.00$) resultaron ser importantes fuente de variación.

La media general para ganancia de peso del destete al año, lo cual considera un período de seis meses, es de 106.6 kg (Anexo 7). Por otra parte la media de cuadrados mínimos (Cuadro 6) indica que dentro de los genotipos de madres de raza pura es el A el que presenta la mayor ganancia con 130.8 kg, siendo mayor que el S en 8.5 kg, y dentro de los cruzados el SA presenta 118.3 kg superando al AS en 7.2 kg. Puede observarse

que el genotipo A fue el que presentó mayor ganancia de peso superando al AS en 19.7 kg.

La heterosis materna para ganancia de peso del año a los 18 meses fue negativa, pero no significativa ($P = 0.23$), (Cuadro 6) indicando una tendencia a que las crías de vacas de raza pura presentaron 11.9 kg más de ganancia que las crías hijas de vacas cruzadas; Brinks *et al.* (1971) usando cinco líneas de H obtuvieron un promedio de heterosis materna para ganancia de peso del año a los 18 meses de -2.9% ($P > 0.05$), presentando la misma tendencia que en el presente estudio, por lo que se puede decir que las crías de vacas de raza pura tendieron en promedio a tener mayor peso que las crías de vacas cruzadas.

4.3.3. Ganancia de peso del año a los 18 meses

El análisis de varianza para ganancia de peso del año a los 18 meses (Anexo 8) muestra que los efectos de sexo de la cría y del año en que las crías cumplen 18 meses resultaron ser importantes fuentes de variación ($P < 0.01$).

La media general para la ganancia de peso del año a los 18 meses fue de 107.9 kg (Anexo 8), considerando un período de tiempo de seis meses, y las medias de cuadrados mínimos (Cuadro 6), muestran que hay diferencia entre genotipos encontrándose que las crías hijas de vacas A fueron las que mostraron una mayor ganancia con 113 kg, seguida por las crías hijas de vacas AS con 110 kg, luego las crías hijas de vacas SA con 98 kg y por último las crías hijas de vacas S con 93 kg. Existiendo una diferencia de 20 kg entre las crías hijas de vacas de genotipo A y las del genotipo S quienes fueron las que presentaron la menor ganancia de peso del año a los 18 meses.

El resultado de heterosis materna para ganancia de peso del año a los 18 meses fue de 1.15% ($P = 0.89$), es decir, que las crías de madres cruzadas pesaron en promedio 1.2 kg más que las crías de madres de raza pura (Cuadro 6).

De los estudios en los que se estimó heterosis materna, sólo se encontró uno en donde evaluaron también para ganancia de peso del año a los 18 meses, pero utilizando cinco líneas de H (Brinks *et al.*, 1971), este fue realizado en Montana, E.U.A. y obtuvieron un promedio de heterosis materna también positivo (Cuadro 4), aunque en este caso tampoco encontraron efecto significativo ($P > 0.05$).

4.3.4. Ganancia de peso del destete a los 18 meses

En el análisis de varianza (Anexo 9) para ganancia de peso del destete a los 18 meses, se observaron efectos altamente significativos ($P < 0.01$) para sexo de la cría, y para el año en que las crías cumplen 18 meses.

La media general obtenida para la ganancia de peso del destete a los 18 meses fue de 208.8 kg (Anexo 9), siendo un año el rango de tiempo que se llevó del destete a los 18 meses. En cuanto a la media de cuadrados mínimos se puede observar que entre las madres de razas puras, son las crías de vacas A las que presentan mayor ganancia, la cual es de 213.8 kg, siendo mayor a las de S en 43.3 kg, y entre las crías de vacas cruzadas son las de las SA las que presentan mayor ganancia (192.5 kg), siendo mayor a las de AS en 5 kg (Cuadro 6).

Se encontró que para la ganancia de peso del destete a los 18 meses las crías hijas de vacas de raza pura en promedio están por arriba de las crías de vacas cruzadas

en 2.3 kg, debido a que la heterosis materna es negativa (-1.2%), aunque no fue diferente de cero ($P = 0.88$). Se puede observar que el efecto de la madre sobre las crías ha disminuido, en comparación con la ganancia de peso del nacimiento al destete.

El resultado del presente estudio para ganancia de peso del destete a los 18 meses respecto a heterosis materna que obtuvieron Brinks *et al.* (1971) en promedio para cinco líneas de H fue positivo, aunque estadísticamente no fue diferente de cero ($P > 0.05$).

Cabe señalar que existen algunas publicaciones en donde estimaron heterosis materna para ganancia diaria de peso postdestete (Cuadro 4), como es el que realizaron Gregory *et al.* (1987) quienes utilizaron dentro de las razas que evaluaron a la A y S obteniendo heterosis materna negativa para ganancia diaria postdestete, aunque tampoco hubo efecto significativo ($P > 0.05$). Otro trabajo fue el que realizaron Olson *et al.* (1978) involucrando la raza A, pero tampoco obtuvieron efecto significativo ($P > 0.05$). Por otro lado Gregory *et al.* (1987) publicaron resultados diferentes a los del presente trabajo, cuando cruzaron las razas S y R, en donde la heterosis materna para ganancia diaria de peso postdestete fue estadísticamente mayor que cero ($P < 0.05$).

4.3.5. Ganancia de peso del nacimiento a los 18 meses

El análisis de varianza para ganancia de peso del nacimiento a los 18 meses (Anexo 10) muestra que el efecto de sexo de la cría fue altamente significativo ($P < 0.01$) y para el efecto de año en que las crías cumplen 18 meses también se encontró efecto significativo ($P < 0.05$).

La media general para ganancia de peso del nacimiento a los 18 meses es de 341.7 kg (Anexo 10), pero la media de mínimos cuadrados (Cuadro 6) indica que entre las crías de vacas de raza pura las de A presentaron 364.5 kg de ganancia, siendo mayor a las crías de S en 34 kg, y con respecto a las crías de vacas cruzadas son las de madres SA las que muestran mayores ganancias (336.6 kg), superando a las de AS en 13.5 kg. Puede observarse que las vacas A produjeron crías con los mayores incrementos de peso del nacimiento a los 18 meses, superando en 41.4 kg a las vacas AS quienes produjeron crías que mostraron las menores ganancias de peso para esta característica.

Se observa una vez más que la heterosis materna tendió a ser negativa ($P = 0.33$), (Cuadro 6); ya que considerando todo el periodo de 18 meses las crías de madres cruzadas presentaron ganancias de peso menores (17.7 kg) que las crías de madres de raza pura (-5% de heterosis materna). No se encontraron estudios que reporten datos de heterosis materna para ésta característica.

4.4. Peso al destete por vaca expuesta

En el análisis de varianza (Anexo 11) para esta característica, se observaron efectos altamente significativos ($P < 0.01$) de año de destete y edad de la vaca al destete.

La media general para peso al destete por vaca expuesta fue de 105.6 kg (Anexo 11) y las medias de cuadrados mínimos (Cuadro 5) muestran que las crías del genotipo que presentó mayor peso fue el AS con 130 kg, seguido del A con 121 kg, después el SA con 120.6 y al final el S con 113.6 kg. Se puede observar que las vacas AS produjeron becerros con los mayores pesos al destete por vaca expuesta, por lo que superaron en 16.5 kg a los becerros hijos de vacas S.

Dearborn *et al.* (1987) quienes incluyeron las mismas razas que en el presente estudio, obtuvieron mayores pesos para los cuatro genotipos ($A = 201$ kg, $S = 216$ kg, $AS = 223$ kg y $SA = 229$ kg) existiendo una diferencia numérica de 80, 102, 93 y 99 kg para A, S, AS y SA, respectivamente, aunque ellos realizaron el destete a los 200 días, las diferencias de peso son grandes, esto es debido a que en ese estudio se obtuvo una tasa de destetes mayor a la que se encontró en el presente trabajo.

El peso al destete por vaca expuesta para la raza A obtenido en el presente trabajo fue menor a los reportados por Cundiff *et al.* (1974a, 1992) quienes para 1974 reportaron 162 kg y en 1992 fueron 156 kg, la causa de las diferencias es que en el presente trabajo se obtuvo una tasa de destetes menor.

El peso al destete por vaca expuesta es una de las variables más importantes en un sistema de producción bovina para carne, pues es el resultado de la eficiencia reproductiva global (desde la concepción), de la producción de leche de la madre y de la tasa de crecimiento durante todo el período de crianza del becerro hasta el destete; para este estudio, aunque no hubo efecto significativo ($P = 0.40$), la heterosis materna obtenida fue de 6.85% (Cuadro 5).

La heterosis materna para peso al destete por vaca expuesta obtenida en el presente estudio es similar a la reportada por Dearborn *et al.* (1987) quienes realizaron un estudio en Nebraska incluyendo a las razas A y S, y tampoco encontraron efecto significativo ($P > 0.05$).

Hay pocos estudios que reportan estimaciones de heterosis materna para peso al destete por vaca expuesta, los estadísticamente iguales a cero (Cuadro 3) y que

involucran a la raza A o S fueron los publicados por Dearborn *et al.* (1987) y Kress *et al.* (1990, 1992).

Mientras que los que presentaron resultados diferentes a los del presente trabajo en los cuales la heterosis materna involucrando a la raza A o S para peso al destete por vaca expuesta presentó efecto significativo ($P < 0.05$) fueron los publicados por Cundiff *et al.* (1974a, 1992) y Dearborn *et al.* (1987).

4.5. Características reproductivas

4.5.1. Tasa de pariciones

Para tasa de pariciones se puede ver en el análisis de varianza de regresión logística (Anexo 12) que para todos los efectos considerados hubo diferencia altamente significativa ($P < 0.01$), excepto para los genotipos A y S ($P = 0.42$ y $P = 0.36$, respectivamente).

Al estimar la probabilidad de tasa de parto considerando el promedio de edad al parto de la vaca (56 meses) y utilizando los estimadores de los parámetros (Anexo 13), se puede ver que la heterosis materna para tasa de pariciones fue de 14.6% (Cuadro 7), siendo ésta altamente significativa ($P < 0.01$), observándose así que la tasa de pariciones de las vacas cruzadas es mayor a la de vacas de raza pura. Kress *et al.* (1990, 1992) consideraron entre las razas que evaluaron a la A y estimaron una heterosis materna para tasa de parto de 43.1% en 1990 y de 11.3% en 1992, entre las razas H y A, la primera es mucho mayor a la obtenida en el presente trabajo y la segunda es ligeramente mas baja a lo que se encontró en este estudio, aunque estadísticamente las estimaciones no fueron diferentes de cero ($P > 0.05$).

Cuadro 7. Tasa de pariciones, de destetes y heterosis materna para tasa de pariciones y de destetes en un cruzamiento entre Angus (A) y Suizo Pardo (S).

Genotipo	Tasa de	
	Pariciones (%)	Destetes (%)
A	69.0	61.0
S	62.0	53.0
AS	80.0	72.0
SA	81.0	68.0
Edad promedio (meses)	56.0	62.0
Heterosis materna (%)	14.6	13.0
Prob.	0.002	0.016

Como ejemplo se muestra un cálculo de tasa de pariciones para vacas Angus, en donde se consideran 56 meses de edad promedio al parto de las vacas utilizando datos que se mencionan en materiales y métodos:

$$P_A = \frac{e^{-0.402+(-0.2813)(0)+(0.6175)(0)+(0.6626)(0)+(0.0289)(56)+(-0.00014)(3136)}}{1 + e^{-0.402+(-0.2813)(0)+(0.6175)(0)+(0.6626)(0)+(0.0289)(56)+(-0.00014)(3136)}}$$

$$P_A = 0.69 = 69\%$$

La probabilidad de parición para vacas Angus de 56 meses de edad es de 69%

4.5.2. Tasa de destetes

La tasa de destetes fue medida a partir del número de vacas que fueron expuestas al empadre. El análisis de varianza para tasa de destetes (Anexo 14) no mostró efecto significativo ($P > 0.05$) para los efectos de genotipo de la vaca, incluyendo como efectos significativos sólo la edad de la vaca al destete de la cría (ED) ($P < 0.05$).

En cuanto a heterosis materna para tasa de destetes (Cuadro 7), se puede ver que resultó ser altamente significativa ($P < 0.01$) y al realizar un ejemplo tomando la edad promedio de destetes de las vacas (62 meses) y usando los estimadores de los parámetros (Anexo 15) se encontró que la heterosis materna fue de 13%, observándose así que en promedio las vacas cruzadas destetan 13% más crías que las vacas de raza pura. Entre los genotipos cruzados AS es el que presenta mayor tasa de destetes (72%), siendo mayor al genotipo SA en 4% y dentro de las razas puras la A es la que muestra mayor porcentaje de destetes (61%), superando a la S en 8%.

En un estudio realizado por Olson *et al.* (1985) muestra para tasa de destetes una heterosis materna de 13% ($P < 0.001$) en las razas A y S, lo cual es igual a lo que se obtuvo en este trabajo; mientras que Koger *et al.* (1975) obtuvieron heterosis materna un poco mayor, siendo de 16% ($P < 0.01$), utilizando las razas Brahman (B) y T, pero el trabajo lo llevaron a cabo bajo pastoreo. Mientras que Cundiff *et al.* (1992) obtuvieron un promedio de heterosis materna para tasa de destetes todavía menor a lo obtenido en este estudio, siendo de 6.2% ($P < 0.05$) utilizando las razas H, A y T.

Por otra parte Kress *et al.* (1990, 1992) reportan una heterosis materna entre las razas A y H para tasa de destetes diferente a la del presente trabajo, ya que no obtuvieron efecto significativo ($P > 0.05$), siendo de 22.6% en 1990 y de 10.4% en 1992.

4.6. Sexo de la cría

Se sabe que el peso de la cría está relacionado con el sexo de la misma; en este estudio las variables PN, PD, PA, P18M, GND, GDA, GA18M, GD18M y GN18M en

las cuales fue considerado el efecto de sexo de la cría, mostraron un efecto altamente significativo ($P < 0.001$), excepto para la variable GDA ($P < 0.06$), observándose que la media de cuadrados mínimos de los machos fue mayor que la de las hembras para cada una de las variables en estudio (Cuadros 8, 9 y 10), encontrándose diferencias de 2.8 kg (7.6%), 13.4 kg (8.3%), 32.7 kg (12.4%), 43.1 kg (11.8%), 10.8 kg (8.9%), 14.3 kg (12.5%), 31.3 kg (35.6%), 33.9 kg (19.4%) y 56.4 kg (18.2%), para PN, PD, PA, P18M, GND, GDA, GA18M, GD18M y GN18M, respectivamente.

Los resultados del presente estudio para peso al nacimiento coinciden con los obtenidos por Cundiff *et al.* (1974b), Ornelas (1982), Marlowe *et al.* (1984), Olson *et al.* (1985), Rivera (1988), Flores y Domínguez (1990) y Kress *et al.* (1995), quienes obtuvieron independientemente de la raza que usaron una superioridad de los machos sobre las hembras de 2.6 kg ($P < 0.01$), 3.7 kg ($P < 0.01$), 2.7 kg ($P < 0.01$), 2.6 kg ($P < 0.01$), 1.6 kg ($P < 0.01$), 1.4 kg ($P < 0.01$) y 3 kg ($P < 0.05$), respectivamente.

Para peso al destete coincidiendo con lo obtenido en el presente estudio, Cundiff *et al.* (1974b), Marlowe *et al.* (1984), Rivera (1988) y Kress *et al.* (1995) obtuvieron un mayor peso en machos con respecto a las hembras de 13.7 kg ($P < 0.01$), 10.0 kg ($P < 0.01$), 20.6 kg ($P < 0.01$) y 14.0 kg ($P < 0.05$), respectivamente.

Hernández (1995) estudiando el PA, P18M, GDA, GA18M y GD18M encontró que los machos pesaron 13.5 kg (5.2%), 61.7 kg (18.4%), 73.2 kg (12.6%), 267.5 kg (65.9%) y 173.1 kg (35.7%), respectivamente, más que las hembras, con efecto altamente significativo ($P < 0.01$) para todas las variables, lo cual coincide con lo obtenido en el presente trabajo.

Cuadro 8. Medias de cuadrados mínimos (kg) para peso al nacimiento (PN), al destete (PD), al año (PA) y a los 18 meses (P18M) por sexo de la cría.

Sexo de la cría	PN	PD	PA	P18M
Macho	39.76 ± 0.68	174.22 ± 2.95	296.06 ± 8.64	408.15 ± 12.49
Hembra	36.97 ± 0.69	160.86 ± 3.03	263.37 ± 8.95	365.04 ± 12.16

Cuadro 9. Medias de cuadrados mínimos (kg) para ganancia de peso del nacimiento al destete, del destete al año y del año a los 18 meses por sexo de la cría.

Sexo de la cría	Nacimiento a destete	Destete al año	Año a los 18 meses
Macho	131.69 ± 2.66	127.80 ± 6.82	119.19 ± 7.08
Hembra	120.92 ± 2.64	113.55 ± 6.84	87.87 ± 7.70

Cuadro 10. Medias de cuadrados mínimos (kg) para ganancia de peso del destete a los 18 meses y del nacimiento a los 18 meses por sexo de la cría.

Sexo de la cría	Destete a los 18 meses	Nacimiento a los 18 meses
Macho	207.96 ± 10.22	366.91 ± 12.44
Hembra	174.11 ± 11.99	310.49 ± 14.13

4.7. Comparación de los sistemas de cruzamiento

Mediante el programa ESIC se compararon los sistemas de cruzamiento de razas puras A y S, terminal de dos razas y rotativo de dos razas, para peso al destete, peso a los 18 meses y tasa de destetes; para PD y P18M se consideraron datos de efectos genéticos individuales y maternos, y heterosis individual de trabajos previos al presente como se mencionó en materiales y métodos, mientras que la heterosis materna fue obtenida en este estudio.

La tasa de destetes es una característica medida en las vacas, por lo que utilizando las tasas de destetes en los genotipos maternos se calcularon los efectos

genéticos individuales ($g_A^I = 6.0\%$) y maternos ($g_A^M = -2.0\%$) para usarse en ESIC; en cuanto a datos de heterosis, la materna se obtuvo en el presente trabajo ($h_{AS}^M = 13\%$), y la heterosis individual ($h_{AS}^I = 2.2\%$) se tomó de la publicación de Dearborn *et al.* (1987), debido a que en el estudio que realizaron en Nebraska, E.U.A. consideraron dentro de las razas que evaluaron a la A y a la S.

Para comparar de una mejor manera la producción que se tiene al destete y a los 18 meses en los sistemas de cruzamiento que se están analizando, se consideró el peso al destete por vaca expuesta y el peso a los 18 meses por vaca expuesta (P18M/VE) y para obtener dichas estimaciones se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$PDVE = PD_{\text{becerros}} \times TD$$

$$P18M/VE = P18M \times TD$$

Se considera la misma TD para el cálculo de PDVE y para P18M/VE, lo cual supone una mortalidad postdestete similar para los diferentes genotipos. Para peso al destete por vaca expuesta el mejor sistema de cruzamiento (Cuadro 11) es el rotativo, el cual presenta 18.25 kg más que el promedio de las dos razas puras (94.62 kg) y 21.6 kg más con relación al peor sistema de cruzamiento que es el de razas puras cuando se utiliza la S. En los sistemas de cruzamiento terminales, cuando se tiene a la raza A como raza terminal no se supera al promedio de las razas puras y cuando se tiene a la raza S como terminal supera en 6.3 kg al peso promedio de las razas puras y en 2.8 kg a la raza A que es la que presenta el mayor peso de las razas puras.

Cuadro 11. Comparación de diferentes sistemas de cruzamiento para evaluar el comportamiento del peso al destete por vaca expuesta (PDVE) y peso a los 18 meses por vaca expuesta (P18M/VE) de crías provenientes de vacas de las razas Angus y Suizo Pardo.

Sistema	Comportamiento esperado en la progenie				
	¹ PD (kg)	P18M (kg)	TD (%)	PDVE (kg)	P18M/VE (kg)
Angus (A)	160.76	391.10	61.00	98.06	238.57
Suizo Pardo (S)	172.04	388.10	53.00	91.18	205.69
Rotativo A,S	169.32	402.29	66.66	112.87	268.17
Terminal AxS	174.30	414.00	57.91	100.94	239.75
Terminal SxA	161.09	395.07	58.63	94.45	231.63

¹PD= Peso al destete, P18M= Peso a los 18 meses, TD=Tasa de destetes

Para peso a los 18 meses por vaca expuesta (Cuadro 11) se puede observar que el mejor sistema de cruzamiento es el rotativo el cual supera en 46.0 kg al promedio de las razas puras consideradas en el estudio y 29.6 kg al sistema de cruzamiento de raza pura A, que es el que presenta el mayor peso de los sistemas de cruzamiento de razas puras. El peor sistema de cruzamiento es el de raza pura S, el cual presenta 62.48 kg menos que el mejor sistema de cruzamiento.

De forma global se puede observar en el Cuadro 11 que el mejor sistema de cruzamiento es el rotativo tanto para PDVE como para P18M/VE y la mejor raza pura para PDVE y P18M/VE es la raza A. Se puede ver, también, que tanto en PDVE como en P18M/VE se presenta el mismo orden de importancia con respecto a los cinco sistemas de cruzamiento evaluados.

En sistemas de cruzamiento rotativo sólo un 6.6 % de los vientres son puros, mientras que en sistemas de cruzamiento terminales un 54.8 % de los vientres son puros y no aprovechan las ventajas del cruzamiento.

5. CONCLUSIONES

El crecimiento pre y postdestete de las crías hijas de vacas cruzadas Angus x Suizo Pardo y Suizo Pardo x Angus, es similar al de las crías de progenitores de raza pura.

La eficiencia reproductiva de las vacas cruzadas (Angus x Suizo Pardo y Suizo Pardo x Angus), medida como tasa de destetes y pariciones, es mayor a la de las vacas de raza pura (Angus y Suizo Pardo).

El peso al destete por vaca expuesta al empadre, tiende a ser mayor (7%) en vacas cruzadas que en vacas de raza pura.

Entre los sistemas de cruzamiento involucrando sólo a los genotipos Angus y Suizo Pardo, el sistema de cruzamiento rotativo con las razas Angus y Suizo Pardo permite obtener crías con el mejor comportamiento, tanto al destete como a los 18 meses.

6. LITERATURA CITADA

- Alenda, R., T.G. Martin, J.F. Lasley, and M.R. Ellersieck. 1980. Estimation of genetic and maternal effects in crossbred cattle of Angus, Charolais and Hereford parentage. I. Birth and weaning weights. *J. Anim. Sci.* 50:226-234.
- Brinks, J.S., B.W. Knapp, J.J. Urick, and O.F. Pahnish. 1971. Maternal heterosis in postweaning traits of cattle. *Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science.* 22:181-187.
- Castro, A.S. 1995. Predicción de valores genéticos para crecimiento predestete en ganado Indobrasil. Tesis Profesional. Depto. de Zootecnia, UACH. Chapingo, México.
- Chowdhary, M.S., and N.K. Barht. 1979. A note on the inheritance of birth weight in indican buffaloes. *Indian J. Anim. Sci.* 49:222-224.
- Crockett, J.R. 1976. Pruebas tempranas de cría en la estación de Everglades, Florida, E.U.A. en: *Cruzamiento en Ganado Vacuno de carne.* Edit. Hemisferio sur. Montevideo, Uruguay. pp 49-54.
- Crockett, J.R., M. Koger, and D.E. Franke. 1978. Rotational crossbreeding of beef cattle: Prewaning traits by generation. *J. Anim. Sci.* 46:1170-1177.
- Cundiff, L.V., K.E. Gregory and R.M. Koch. 1974a. Effects of heterosis on reproduction in Hereford, Angus and Shorthorn cattle. *J. Anim. Sci.* 38:711-727.
- Cundiff, L.V., K.E. Gregory, F.J. Schwulst, and R.M. Koch. 1974b. Effects of heterosis on maternal performance and milk production in Hereford, Angus and Shorthorn cattle. *J. Anim. Sci.* 38:728-745.

- Cundiff, L.V., R. Núñez-Domínguez, G.E. Dickerson, K.E. Gregory, and R.M. Koch. 1992. Heterosis for lifetime production in Hereford, Angus, Shorthorn and crossbred cows. *J. Anim. Sci.* 70:2397-2410.
- Cunningham, E.P., and C.R. Henderson. 1965. Estimation of genetic and phenotypic parameters of weaning traits in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 24:182-187.
- Dearborn, D.D., K.E. Gregory, L.V. Cundiff, and R.M. Koch. 1987. Maternal heterosis and grandmaternal effects in beef cattle: Prewaning traits. *J. Anim. Sci.* 65:33-41.
- DeNise, S.K., M. Torabi, D.E. Ray, and R. Rice. 1988. Genetic parameter estimates for preweaning traits of beef cattle in a stressful environment. *J. Anim. Sci.* 66:1899-1906.
- Dickerson, G.E. 1969. Experimental approaches in utilising breed resources. *Anim. Breed. Abstr.* 37:191-202.
- Dickerson, G.E. 1973. Inbreeding and heterosis in animals in: *Proceeding of the Animal Breeding and Genetics Symposium in honor of Dr. Jay Lush*. American Society of Animal Science. pp 54-77.
- Dillard, E.W., O Rodríguez, and O.W. Robinson. 1980. Estimation of additive and nonadditive direct and maternal genetic effects from crossbreeding beef cattle. *J. Anim. Sci.* 50:653-663.
- Escudero, P.J.A. 1981. Productividad de ganado Pardo Suizo y sus cruizas en una rejeguería en el estado de Tabasco. Tesis profesional. FMVZ. UNAM. México, D.F.

- Fernández, R.S., M.E. Jaimes J., J.J. Muñoz D., L. Ortega M., y R. Núñez D. 1995a. Heterosis y efectos genéticos individuales y maternos en bovinos Angus y Suizo Pardo. I. Ganancia de peso y consumo y, eficiencia de utilización de dietas altas en forraje. Revista Chapingo. Serie Zootecnia 1:11-14.
- Fernández, R.S., L. Ortega M., M.E. Jaimes J., J.J. Muñoz D., y R. Núñez D. 1995b. Heterosis y efectos genéticos individuales y maternos en bovinos Angus y Suizo Pardo. II. Ganancia de peso y consumo y, eficiencia de utilización de dietas altas en grano. Revista Chapingo. Serie Zootecnia 1:15-18.
- Flores, M.J., y O. Domínguez S. 1990. Heterosis y efectos genéticos individuales y maternos para características predestete en un cruzamiento entre bovinos Angus y Suizo Pardo. Tesis Profesional. Depto. de Zootecnia, UACH. Chapingo, México.
- García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de clasificación climático de Köepen. Instituto de Geografía. UNAM. México. 246 p.
- Garrick, D.J. 1990. Maternal effects on growth in beef cattle. In: Proc. of the Eighth Conf.: "Technology prospects and transfer" of the Australian Assoc. of Anim. Breed. and Genetics. pp 397-400.
- Gotti, J.E., and L.L. Benyshek. 1988. Growth characteristics in crosses of Angus, Santa Gertrudis and Gelbvieh beef cattle. J. Anim. Sci. 66:1585-1591.
- Gregory, K.E., and L.V. Cundiff. 1980. Crossbreeding in beef cattle: Evaluation of systems. J. Anim. Sci. 51:1224-1242.

- Gregory, K.E., L.A. Swiger, R.M. Koch, L.J. Sumption, J.E. Ingalls, W.W. Rowden, and J.A. Rothlisberger. 1966. Heterosis effects on growth rate of beef heifers. *J. Anim. Sci.* 25:290-298.
- Gregory, K.E., L.V. Cundiff, R.M. Koch, D.B. Laster, and G.M. Smith. 1978. Heterosis and breed maternal and transmitted effects in beef cattle. I. Prewaning traits. *J. Anim. Sci.* 47:1031-1041.
- Gregory, K.E., G.M. Smith, L.V. Cundiff, R.M. Koch, and D.B. Laster. 1979. Characterization of biological types of cattle. Cycle III. Birth and weaning traits. *J. Anim. Sci.* 48:271-279.
- Gregory K.E., D.D. Dearborn, L.V. Cundiff and R.M. Koch. 1987. Maternal heterosis and grandmaternal effects in beef cattle. Postweaning growth and carcass traits. *J. Anim. Sci.* 69:1180-1194.
- Gregory K.E., L.V. Cundiff and R.M. Koch. 1991. Breed effects and heterosis in advanced generations of composite populations for birth weight, birth date, dystocia and survival as traits of dam in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 69:3574-3589.
- Hernández, S.J.R. 1995. Efectos genéticos raciales para características postdestete en un cruzamiento entre bovinos Angus y Suizo Pardo. Tesis Profesional. Depto. de Zootecnia, UACH. Chapingo, México.
- Johnson, D.L., R.L. Backer, C.A. Morris, A.H. Carter, and J.C. Hunter. 1986. Reciprocal crossbreeding of Angus and Hereford cattle. 2. Steer growth and carcass traits. *New Zeland Journal of Agricultural Research.* 29:433-441.

- Knapp, B.W., O.F. Pahnish, J.J. Urik, J.S. Brinks, and G.V. Richardson. 1980. Prewaning and weaning heterosis for maternal effects of beef x beef and beef x dairy crosses. *J. Anim. Sci.* 50:800-807.
- Koger, M., F.M. Peacock, W.G. Kirk, and J.R. Crockett. 1975. Heterosis effects on weaning performance of Brahman-Shorthorn calves. *J. Anim. Sci.* 40:826-833.
- Koger, M., F.M. 1976. Resumen y conclusiones en: *Cruzamiento en Ganado Vacuno de Carne*. Edit. Hemisferio sur. Montevideo, Uruguay. pp 536-552.
- Kress, D.D., D.E. Doornbos, and D.C. Anderson. 1990. Performance of crosses among Hereford, Angus, and Simmental cattle with different levels of Simmental breeding: IV. Maternal heterosis and calf production by two year-old dams. *J. Anim. Sci.* 68:54-63.
- Kress, D.D., D.E. Doornbos, D.C. Anderson, and D. Rossi. 1992. Performance of crosses among Hereford, Angus, and Simmental cattle with different levels of Simmental breeding: VI. Maternal heterosis of 3- to 8-year-old dams and the dominance model. *J. Anim. Sci.* 70:2682-2687.
- Kress, D.D., D.E. Doornbos, D.C. Anderson, and K.C. Davis. 1995. Tarentaise and Hereford breed effects on cow and calf traits and estimates of individual heterosis. *J. Anim. Sci.* 73:2574-2578.
- Lasley, J.F. 1991. *Genética del Mejoramiento del Ganado*. 2da Ed. Edit Noriega Limusa. México. 378 p.
- Legates, J.E., y E.J. Warwick. 1992. *Cría y Mejora del Ganado*. 8va Ed. Edit Interamericana McGraw-Hill. México. 344 p.

- Leighton, E.A. R.L. Willham, and P.J. Berger. 1982. Factors influencing weaning weight in Hereford cattle and adjustment factors to correct records for these effects. *J. Anim. Sci.* 54:957-963.
- Long, Ch.R. 1980. Crossbreeding for beef production: Experimental results. *J. Anim. Sci.* 51:1197-1223.
- López D. 1985a. Creación de nuevas razas en: Principios Básicos del Cruzamiento en Bovinos, su aplicación en los trópicos. Instituto de ciencia Animal del Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana, La Habana, Cuba. pp 83-93.
- López D. 1985b. Resultados de los cruzamientos lecheros en Cuba en: Principios Básicos del Cruzamiento en Bovinos, su aplicación en los trópicos. Instituto de ciencia Animal del Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana, La Habana, Cuba. pp 95-105.
- Marlowe, T.J., D.R. Notter, R.A.Brown, and A. Tolley. 1984. Sire breed effects in matings with Angus cows. I Fertility, calf survival and performance to 18 months. *J. Anim. Sci.* 59:11-22.
- Marshall, T.T., D.D. Hargrove, and T.A. Olson. 1987. Heterosis and additive breed effects on feedlot and carcass traits from crossing Angus and Brown Swiss. *J. Anim. Sci.* 64:1332-1339.
- McDonald R.P., and J.W. Turner. 1972. Estimation of maternal heterosis in preweaning traits of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 35:1146-1154.
- Minyard, J.A., and C.A. Dinkel. 1965. Weaning weight of beef calves as affected by age and sex of calf and age of dam. *J. Anim. Sci.* 24:1067-1071.

- Montaño B.M. 1997. Importancia de las asociaciones de criadores en la efectividad de los sistemas de cruzamiento en ganado bovino en: "Primer Foro de Análisis de los Recursos Genéticos de la ganadería bovina". INIFAP. México. pp 12-20.
- Montero, A.G. 1995. ESIC: Programa computacional para evaluar sistemas de cruzamiento. Tesis Profesional. Depto. de Zootecnia, UACH. Chapingo, México.
- Mujica F. y, A. Tewolde. 1990. Estrategias de mejoramiento animal en los sistemas de producción bovina con énfasis en la utilización del criollo en sistemas de doble propósito en: Memorias de la Conferencia Internacional sobre sistemas y estrategias de mejoramiento bovino en el trópico. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. pp 81-93.
- Navarro, R.J. 1994. Predicción de valores genéticos para crecimiento predestete en ganado Suizo Pardo en trópico húmedo. Tesis Profesional. Depto. de Zootecnia, UACH. Chapingo, México.
- Nelsen, T.C., and D.D. Kress. 1979. Estimates of heritabilities and correlations for production characters of Angus and Hereford calves. J. Anim. Sci. 48:286-292.
- Notter, D.R., J.O. Sanders, G.E. Dickerson, G.M. Smith, and T.C. Cartwright. 1979. Simulated efficiency of beef production for midwestern cow-calf feedlot management system. III. Crossbreeding systems. J. Anim. Sci. 49:92-102.
- Núñez, D.R., J.J. Muñoz D., L. Ortega M., M.E. Jaimes J., A. Mejenes Q., y S. Fernández R. 1995a. Heterosis y efectos genéticos individuales y maternos en bovinos Angus y Suizo Pardo. III. Rendimiento y características de la canal. Revista Chapingo. Serie Zootecnia 1:19-23.

- Núñez, D.R., J. Flores M., O. Domínguez S., y R. Ramírez V. 1995b. Heterosis y efectos genéticos individuales y maternos para características predestete en un cruzamiento entre bovinos Angus y Suizo Pardo. Revista Chapingo. Serie Zootecnia 1:25-29.
- Núñez, D.R., G. Montero A., y S. Castro A. 1996. ESIC: Evaluación de Sistemas de Cruzamiento. Manual del Usuario. Universidad Autónoma Chapingo, México. 23 p.
- Olson, L.W., L.V. Cundiff, G.E. Dickerson, and K.E. Gregory. 1978. Maternal heterosis effects on postweaning growth and carcass traits in beef cattle. J. Anim. Sci. 46:1552-1562.
- Olson, T.A., Anke van Dijk, M. Koger, D.D. Hargrove, and D.E. Franke. 1985. Additive and heterosis effects on preweaning traits, maternal ability and reproduction from crossing of the Angus and Brown Swiss breeds in Florida. J. Anim. Sci. 61:1121-1130.
- Ornelas, G.T. 1982. Efectos del medio ambiente sobre el peso al nacer en becerros Suizo Pardo y Holstein en clima tropical. Tesis profesional. FMVZ. UNAM. México, D.F.
- Ornelas, G.T. 1987. Productividad total de hembras Indobrasil y su relación con su peso al nacer o al destete. Tesis de Maestría en ciencias. Departamento de Zootecnia. UACH. Chapingo, México.

- Parker C.F., E.W. Klosterman, R.R. Bishop, and F.S. Ruland. 1972. Heterosis of weaning traits among Charolais, Hereford and F1 Charolais-Hereford cows. J. Anim. Sci. 35:181-181 (Abstr).
- Pirchner, F. 1969. Population Genetics in Animal Breeding. Freeman W. H. and Company. San Francisco, United States of America. 274 p.
- Plasse, D. 1976. Cruzamiento de razas Cebú, nativas y europeas en Venezuela y otros países de América Latina en: Cruzamiento en Ganado Vacuno de carne. Edit. Hemisferio sur. Montevideo, Uruguay. pp 505-521.
- Plasse, D. 1978. Aspectos de crecimiento del *Bos indicus* en el trópico americano (primera parte). World Review of Animal Production. 14:29-48.
- Ponce de León S.R. 1985. Aspectos teóricos del cruzamiento en: Principios Básicos del Cruzamiento en Bovinos, su aplicación en los trópicos. Instituto de ciencia Animal del Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana, La Habana, Cuba. pp 1-22.
- Rico C. 1985. Cruzamiento para la producción de carne en: Principios Básicos del Cruzamiento en Bovinos, su aplicación en los trópicos. Instituto de ciencia Animal del Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana, La Habana, Cuba. pp 107-117.
- Rivera, V.J.L. 1988. Algunos aspectos productivos en ganado Cebú, Suizo Pardo y sus cruas derivadas en clima tropical. Tesis Profesional. FMVZ. UNAM. México, D.F.

- Robison, O.W., M.K.M. Yusuff, and E.U. Dillard. 1978. Milk production in Hereford cows. I. Means and correlations. *J. Anim. Sci.* 47:131-136.
- Statistical Analysis System^(R). 1990. The SAS system for windowsTM. Release 6.11. SAS Institute Inc. Copyright[©] 1985-1995. Cary, North Carolina 27513, U.S.A, All Rights Reserved.
- Sheridan, A.K. 1981. Crossbreeding and heterosis. *Anim. Breed. Abstr.* 49:131-144.
- Turton J.D. 1981. Crossbreeding of dairy cattle a selective review. *Anim. Breed. Abstr.* 49:293-300.
- Velázquez, P.G., y A. Huerta R. 1995. Efectos genéticos raciales sobre curvas de lactancia en vacas Angus y Suizo Pardo y sus cruza. Tesis Profesional. Depto. de Zootecnia, UACH. Chapingo, México.
- Warwick, E.J., y J.E. Legates. 1984. Cría y Mejora del Ganado. 3ra Ed. Edit. McGraw-Hill. México. 623 p.
- Willham, R.L. 1968. Experimental evaluation of maternal heterosis. Presented at the 1968 NC-1 Technical Committee Meeting, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin. pp 10-17.
- Willham, R.L. 1970. Genetic consequences of crossbreeding. *J. Anim. Sci.* 30:690-693.
- Willham, R.L. 1980. Problems in estimating maternal effects. *Livest. Prod. Sci.* 7:405-418.

7. ANEXOS

Anexo 1. Número de observaciones que se utilizaron para el análisis de cada variable por genotipo de la vaca (Angus = A, Suizo Pardo = S).

Genotipo	Característica											
	¹ PN	PD	PA	PM	GND	GDA	GDM	GAM	GNM	PDVE	TP	TD
A	83	77	16	13	77	16	13	13	13	126	126	126
S	47	45	6	5	45	6	5	5	5	87	87	87
AS	58	53	29	26	53	29	25	26	25	76	76	76
SA	88	74	41	36	74	41	36	35	35	113	113	113
TOTAL	276	249	92	80	249	92	79	79	78	402	402	402

¹ Peso al nacimiento=PN, al destete=PD, al año=PA, y a los 18 meses=PM, ganancia de peso de nacimiento al destete=GND, del destete al año=GDA, del destete a los 18 meses=GDM, del año a los 18 meses=GAM, y del nacimiento a los 18 meses=GNM, peso al destete por vaca expuesta=PDVE, tasa de pariciones=TP y de destetes=TD.

Anexo 2. Análisis de varianza para peso al nacimiento.

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios	F	Probabilidad
Genotipo de la vaca	3	291.66	9.21	0.0001
Sexo de la cría	1	510.74	16.13	0.0001
Número de parto	5	149.10	4.71	0.0004
Mes de parto	3	43.23	1.37	0.2537
Año de parto	4	142.96	4.52	0.0015
Error	259	31.66		

P < 0.05

R² = 0.31

C.V. = 15.20

Media = 37.01

Anexo 3. Análisis de varianza para peso al destete.

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios	F	Probabilidad
Genotipo de la vaca	3	1071.10	1.98	0.1171
Sexo de la cría	1	10545.21	19.54	0.0001
Número de parto	6	937.94	1.74	0.1132
Mes de destete	3	3271.50	6.06	0.0005
Año de destete	5	14382.12	26.64	0.0001
Error	230	539.77		

P < 0.05

R² = 0.54

C.V. = 13.81

Media = 168.22

Anexo 4. Análisis de varianza para peso al año.

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios	F	Probabilidad
Genotipo de la vaca	3	1907.11	1.07	0.3668
Sexo de la cría	1	19714.90	11.06	0.0013
Número de parto	3	1076.82	0.60	0.6143
Mes al año	2	4438.65	2.49	0.0895
Año al año	4	15142.97	8.50	0.0001
Error	78	1782.39		

$P < 0.05$

$R^2 = 0.59$

C.V. = 15.65

Media = 269.72

Anexo 5. Análisis de varianza para peso a los 18 meses.

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios	F	Probabilidad
Genotipo de la vaca	3	1249.52	0.34	0.7943
Sexo de la cría	1	27357.94	7.51	0.0078
Número de parto	3	6847.55	1.88	0.1410
Mes a los 18 meses	1	1662.58	0.46	0.5016
Año a los 18 meses	1	50399.21	13.83	0.0004
Error	70	3643.43		

$P < 0.05$

$R^2 = 0.50$

C.V. = 16.01

Media = 376.92

Anexo 6. Análisis de varianza para ganancia de peso del nacimiento al destete.

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios	F	Probabilidad
Genotipo de la vaca	3	403.84	0.84	0.4712
Sexo de la cría	1	6921.42	14.46	0.0002
Número de parto	3	824.01	1.72	0.1633
Mes de destete	3	2565.15	5.36	0.0014
Año de destete	3	20406.49	42.63	0.0001
Error	235	478.65		

$P < 0.05$

$R^2 = 0.52$

C.V. = 16.68

Media = 131.19

Anexo 7. Análisis de varianza para ganancia de peso del destete al año.

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios	F	Probabilidad
Genotipo de la vaca	3	985.11	0.99	0.4024
Sexo de la cría	1	3793.46	3.81	0.0545
Número de parto	2	85.55	0.09	0.9178
Mes al año	3	586.64	0.59	0.6241
Año al año	2	12423.25	12.47	0.0001
Error	80	996.23		

$P < 0.05$

$R^2 = 0.41$

C.V. = 29.60

Media = 106.63

Anexo 8. Análisis de varianza para ganancia de peso del año a los 18 meses.

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios	F	Probabilidad
Genotipo de la vaca	3	1206.62	1.66	0.1838
Sexo de la cría	1	14233.05	19.58	0.0001
Número de parto	2	87.56	0.12	0.8867
Mes a los 18 meses	2	191.81	0.26	0.7689
Año a los 18 meses	2	11452.48	15.76	0.0001
Error	68	726.90		

$P < 0.05$

$R^2 = 0.53$

C.V. = 25.00

Media = 107.86

Anexo 9. Análisis de varianza para ganancia de peso del destete a los 18 meses.

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios	F	Probabilidad
Genotipo de la vaca	3	2242.85	0.98	0.4078
Sexo de la cría	1	16341.24	7.13	0.0095
Número de parto	3	1000.65	0.44	0.7273
Mes a los 18 meses	2	207.34	0.09	0.9136
Año a los 18 meses	1	40350.37	17.62	0.0001
Error	68	2290.55		

$P < 0.05$

$R^2 = 0.39$

C.V. = 22.92

Media = 208.79

Anexo 10. Análisis de varianza para ganancia de peso del nacimiento a los 18 meses.

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios	F	Probabilidad
Genotipo de la vaca	3	3466.25	1.09	0.3610
Sexo de la cría	1	43102.72	13.51	0.0005
Número de parto	3	5847.42	1.83	0.1497
Mes a los 18 meses	2	1698.20	0.53	0.5898
Año a los 18 meses	1	16071.90	5.04	0.0281
Error	67	3191.08		

$P < 0.05$

$R^2 = 0.47$

C.V. = 16.53

Media = 341.70

Anexo 11. Análisis de varianza para peso al destete por vaca expuesta.

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios	F	Probabilidad
Genotipo de la vaca	3	3035.26	0.47	0.7063
Año de destete	2	103509.72	15.88	0.0001
Edad de la vaca al destete(ED)	1	90182.91	13.84	0.0002
ED*ED	1	75987.51	11.66	0.0007
Error	394	6516.91		

$P < 0.05$

$R^2 = 0.12$

C.V. = 76.45

Media = 105.60

Anexo 12. Análisis de varianza de regresión logística para tasa de pariciones, con variables indicadoras para genotipo de la vaca (P1, P2, P3).

Fuente de variación	gl	Chi cuadrada	Probabilidad
¹ Intercepto	1	0.65	0.4219
P1	1	0.83	0.3621
P2	1	3.14	0.0762
P3	1	4.54	0.0330
Edad al parto (EP)	1	6.07	0.0137
EP*EP	1	5.63	0.0177
Razón de verosimilitud	220	324.79	0.0000

¹Intercepto=Angus (A), P1=Suizo Pardo (S), P2=AS, P3=SA

Anexo 13. Estimadores de los parámetros obtenidos por regresión logística para tasa de pariciones, con variables indicadoras para genotipo de la vaca (P1, P2, P2).

Efecto	Parámetro	Estimador
¹ Intercepto	A	-0.4020
P1	S	-0.2813
P2	AS	-0.6175
P3	SA	0.6626
Edad al parto (EP)		0.0289
EP*EP		0.0001

¹Intercepto=Angus (A), P1=Suizo Pardo (S), P2=AS, P3=SA

Anexo 14. Análisis de varianza de regresión logística para tasa de destetes, con variables indicadoras para genotipo de la vaca (D1, D2, D3).

Fuente de variación	gl	Chi cuadrada	Probabilidad
¹ Intercepto	1	1.87	0.1719
D1	1	1.29	0.2568
D2	1	2.39	0.1221
D3	1	1.19	0.2757
Edad al destete (ED)	1	5.02	0.0251
ED*ED	1	4.11	0.0427
Razón de verosimilitud	213	341.62	0.0000

¹Intercepto=Angus (A), D1=Suizo Pardo (S), D2=AS, D3=SA

Anexo 15. Estimadores de los parámetros obtenidos por regresión logística para tasa de destetes, con variables indicadoras para genotipo de la vaca (D1, D2, D3).

Efecto	Parámetro	Estimador
Intercepto	A	-0.7294
D1	S	-0.3410
D2	AS	0.4945
D3	SA	0.3035
Edad al destete (ED)		0.0261
ED*ED		0.0001

¹Intercepto=Angus (A), D1=Suizo Pardo (S), D2=AS, D3=SA

