

01672

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

2



Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
División de Estudios de Posgrado

**Diferencia esperada en la progenie para peso al  
destete de ovinos Pelibuey, usando el modelo  
animal en una explotación semi-intensiva.**

Tesis para obtener el grado de:  
**MAESTRO EN CIENCIAS**

Presentada por:

*Gabriel Ricardo Campos Montes*

Asesor

Pedro Ochoa Galván

Comité Tutorial

Héctor Castillo Juárez

José Manuel Berruecos Villalobos

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Ciudad Universitaria, Julio 2002



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIAS

A mis padres Inés Montes y Benigno Campos, por darme la vida y un ejemplo a seguir

A mis hermanos Francisco, Leopoldo, Inés y Lourdes ... por ser quienes son.

A los que han hecho más grande mi familia: Mis cuñados y sobrinos, por su aliento y sus risas

A la Señora Margarita, por ser un ejemplo de valor, congruencia, amistad y fortaleza.

A Verónica Campos Ortega (†).. por que uno no esta donde el cuerpo, si no donde se le extraña....

A la Estudiantina Veterinaria, por brindarme ese espacio donde evite volverme loco.

A esas personas que de una u otra forma mostraron interés y fe por este proyecto, que aportaron ideas, criticas o palabras de aliento, no las menciono a cada una por que sé que mi memoria fallaría (cosa nada rara) y omitiría a muchos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, por el conocimiento brindado todo estos años.

Al Doctor Pedro Ochoa Galván, no sólo por ser mi asesor, si no por que ha creído en mi, en este proyecto y ha sido un guía no solo en la academia e investigación.

A mi comité tutorial, Doctores Héctor Castillo Juárez y José Manuel Berruecos Villalobos, por sus ideas para el buen termino de este trabajo

A los Doctores Rafael Núñez Domínguez y Javier Valencia Méndez, por sus observaciones y sugerencias.

A la Doctora Hilda Castro, por su valiosa colaboración para el inicio y culminación de este trabajo.

Al Ingeniero Ernesto Frey, por sus comentarios, su experiencia y apoyo para el desarrollo de este trabajo.

A mis profesores de la maestría: Adriana Ducoing, Carlos Apodaca, José Luis Pablos, Pedro Ochoa y Carlos Vázquez, por la paciencia para generar y solucionar mis dudas

A mis compañeros de viaje, Guadalupe Sánchez y Reyes López, los que pronto me alcanzarán es esta estación para emprender un nuevo camino.

A todas las criaturas vivas, pero sobre todo su creador.

# INDICE

Capitulo	Pagina
1. Introducción	1
2. Revisión de literatura	4
2.1 El borrego Pelibuey	4
2.2 El peso al destete en ovinos	5
2.3 La evaluación genética	10
2.3.1 Factores de ajuste	11
2.3.2 Componentes de la varianza fenotípica	12
2.3.3 Predicción del valor genético	15
2.3.4 Diferencia esperada en la progenie	22
2.3.5 Exactitud de la diferencia esperada en la progenie	22
2.3.6 Consideraciones para la evaluación genética entre rebaños	23
2.3.7 Cambios genéticos y fenotípicos en la población a través del tiempo	24
3. Material y métodos	26
3.1 Características generales de la unidad de producción	26
3.2 Registros de producción	27
3.3 Análisis preliminares	28
3.4 Estimación de componentes de varianza	30
3.5 Cálculo de la diferencia esperada en la progenie y exactitud en la predicción	31
3.6 Tendencias fenotípicas y genéticas de peso al destete ajustado a 75 días	32
4. Resultados y discusión	34
4.1 Efectos fijos involucrados en la variabilidad del peso al destete ajustado a los 75 días	34

4.2	Componentes de varianza y parámetros genéticos para peso al destete ajustado a 75 días	38
4.3	Diferencia esperada en la progenie para peso al destete ajustado a 75 los días	40
4.3.1	Diferencia esperada en la progenie para efectos genéticos aditivos directos en el peso al destete ajustado a 75 los días	40
4.3.2	Exactitud de la diferencia esperada en la progenie para efectos genéticos aditivos directos en el peso al destete ajustado a 75 los días	44
4.3.3	Diferencia esperada en la progenie para efectos genéticos aditivos maternos en el peso al destete ajustado a 75 los días	46
4.3.4	Exactitud de la diferencia esperada en la progenie para efectos genéticos aditivos maternos en el peso al destete ajustado a 75 los días	49
4.4	Cambios promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1985 y 2000.	51
4.4.1	Cambios promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1985 y 1990 (selección por ganancia diaria pre-destete).	54
4.4.2	Cambios promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1991 y 1995 (Selección por prolificidad).	56

4 4.3.	Cambios promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1996 y 2000. (selección por prolificidad y ganancia diaria pre- destete)	58
5.	Recomendaciones al productor	60
6.	Conclusiones	64
7.	Literatura citada	66

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Pagina</b>
Cuadro 1	16
Estimaciones de heredabilidad descritos en la literatura para efectos aditivos directos ( $h^2_D$ ), aditivos maternos ( $h^2_M$ ) y correlación genética entre ellos ( $r_G$ ) así como del efecto ambiental permanente materno en diversas razas de ovinos para peso al destete	
Cuadro 2	23
Grupos de exactitud para las predicciones de las diferencias esperadas en la progenie	
Cuadro 3	31
Componentes de varianza, considerados como valores iniciales en la predicción de la diferencia esperada en la progenie para peso al destete ajustado a 75 días	
Cuadro 4	34
Análisis de varianza para el modelo final utilizado en el cálculo de los valores genéticos para peso al destete ajustado a 75 días	
Cuadro 5	35
Estadística descriptiva para peso al destete a los 75 días en función de la variable año-época de nacimiento	
Cuadro 6	36
Estadística descriptiva para peso al destete a los 75 días en función de la variable sexo del cordero	
Cuadro 7	37
Estadística descriptiva para peso al destete ajustado a los 75 días en función de la variable tamaño de camada al nacimiento-corderos destetados (TC-CD)	



Cuadro 8	.....	41
Estadística descriptiva de la diferencia esperada en la progenie para efectos directos (kg) en el peso al destete ajustado a los 75 días en función del año de estudio		
Cuadro 9	.....	42
Estadística descriptiva de la diferencia esperada en la progenie para efectos directos (kg) en el peso al destete ajustado a los 75 días para sementales, hembras y corderos del año 2000		
Cuadro 10	.....	46
Estadística descriptiva de la diferencia esperada en la progenie para efectos maternos (kg) en el peso al destete ajustado a los 75 días en función del año de estudio		
Cuadro 11	.....	47
Estadística descriptiva de la diferencia esperada en la progenie para efectos maternos (kg) en el peso al destete ajustado a los 75 días para sementales, hembras y corderos del año 2000		
Cuadro 12	.....	51
Cambio promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1985 y 2000		
Cuadro 13	.....	54
Cambio promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1985 y 1990		
Cuadro 14	.....	56
Cambio promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1991-1995.		
Cuadro 15	.....	58
Cambio promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1996-2000.		

## LISTA DE FIGURA Y GRAFICAS

<b>Gráfica o figura</b>	<b>Pagina</b>
Figura 1 Efectos involucrados en el peso al destete	6
Gráfica 1 Modificación en el peso al destete ajustado a los 75 días conforme avanza el número de parto	38
Gráfica 2 Diferencia esperada en la progenie para efectos directos del peso al destete ajustado a los 75 días (P75D), en los sementales utilizados en el año 2000	43
Gráfica 3 Diferencia esperada en la progenie para efectos maternos del peso al destete ajustado a los 75 días (P75D), en los sementales utilizados en el año 2000	48
Gráfica 4 Cambio promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1985 y 1990	53
Gráfica 5 Cambio promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1985 y 1990	55
Gráfica 6 Cambio promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1991 y 1995	57
Gráfica 7 Cambio promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1996 y 2000	59

## RESUMEN

**Gabriel Ricardo Campos Montes.** Diferencia esperada en la progenie para peso al destete de ovinos Pelibuey, usando el modelo animal, en una explotación semi-intensiva (Asesor, Dr. Pedro Ochoa Galván)

El presente trabajo se realizó en una unidad de producción de ovinos Pelibuey ubicada en Chalma, Estado de México. Se utilizó información del periodo 1985 a 2000 para peso al destete ajustado a los 75 días (P75D) de 4,438 borregos, cuyo promedio fue  $12.77 \pm 0.05$  kg. Se calculó la diferencia esperada en la progenie para los efectos genéticos directos de P75D ( $DEP_D$ ) y genéticos maternos ( $DEP_M$ ) usando un modelo animal y máxima verosimilitud restringida. Los efectos fijos utilizados para la evaluación fueron año-época de nacimiento, tamaño de camada al nacimiento-corderos destetados, sexo del cordero y la covariable número de parto. Las heredabilidades calculadas fueron  $0.16 \pm 0.05$  para efectos directos y  $0.04 \pm 0.03$  para efectos maternos, la correlación genética fue de  $-0.01$  y el efecto materno ambiental de  $0.09 \pm 0.2$ . Las  $DEP_D$  de los individuos se ubicó entre 1.209 y  $-0.854$ , las exactitudes para estas predicciones se encuentran entre 0.19 y 0.96. Para las  $DEP_M$  los valores se encuentran entre 0.437 y  $-0.380$  con exactitudes entre 0.0 y 0.88. Las tendencias fenotípicas, genéticas aditivas directa y materna en el periodo estudiado fueron de  $0.159 \pm 0.01$  kg,  $0.044 \pm 0.002$  kg y  $-0.0087 \pm 0.0008$  kg respectivamente. El cálculo de las  $DEP_D$  intra-rebaño es una herramienta útil en el mejoramiento genético de ovinos por la posibilidad de contar con diferentes fuentes de información en el mismo lugar, lo que permite seleccionar de forma más exacta en menos tiempo. Las exactitudes para  $DEP_M$ , son bajas debido a que el efecto materno sólo puede ser medido en hembras paridas, lo que reduce el número de fuentes de información. Es importante encontrar estructuras de información familiar que permitan obtener, en el menor tiempo posible, una mayor exactitud en las evaluaciones de efectos maternos.

**Palabras claves:** Ovinos, Pelibuey, diferencia esperada en la progenie, peso al destete

## SUMMARY

**Gabriel Ricardo Campos Montes.** Expected progeny difference for weight to the weaning of Pelibuey lambs, using the animal model, in a semi-intensive production (Adviser, Dr. Pedro Ochoa Galván)

The present work was carried out in a production unit of Pelibuey lambs located in Chalma, State of Mexico. The Information used was from obtained the 1985 to 2000, for the 75-day adjusted weaning weight (W75D) of 4,438 lambs. The average of W75D was  $12.77 \pm 0.05$  kg. The expected progeny difference was calculated for the direct genetic effects of W75D (EPD<sub>D</sub>) and genetic maternal effects (EPD<sub>M</sub>) using an animal model and restricted maximum likelihood. The fixed effects used for the evaluation were year-season at birth, litter size at birth-litter size at weaning, sex of the lamb and number of lambings of the dam as a were covariate. Heritability estimates were  $0.16 \pm 0.05$  for direct genetic effects and  $0.04 \pm 0.03$  for maternal genetic effects; the genetic correlation was of -0.01 and the environmental permanent maternal effect of  $0.09 \pm 0.2$ . The EPD<sub>D</sub> of the individuals were between 1.209 and -0.854 and the accuracies (r) for these predictions they are between 0.19 and 0.96. For the EPD<sub>M</sub> the values are between 0.437 and -0.380 with accuracies between 0.0 and 0.88. Phenotypic, genetic direct and genetic maternal yearling trends for the studied period were respectively  $0.159 \pm 0.01$  kg,  $0.044 \pm 0.002$  kg and  $-0.0087 \pm 0.0008$  kg. Calculation of intra-flock EPD<sub>D</sub> using a animal model is a useful tool in the genetic improvement of sheep, because allows the use of all sources of information available, which allows a more accurate genetic prediction. The accuracies for EPD<sub>M</sub>, are lower because the maternal genetic effect can be measured only in dams, which reduces the sources of information compared to direct effects. It is important to find structures of family information that allow to obtain, in the shortest possible time, a greater accuracy in the evaluations of maternal genetic effects

**Key word:** Lambs, Pelibuey, Expected progeny difference, weight to the weaning

# 1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente los ovinos estuvieron relacionados con la producción de lana, y en un segundo término con la producción de carne; sin embargo, en México actualmente esta conceptualización es inversa, donde la producción de carne es el objetivo principal del mercado de los ovinocultores y la lana es un subproducto. Por esta razón, en los últimos años se han utilizado razas de borregos de pelo como recursos genéticos para el desarrollo de la ovinocultura.

El inventario nacional de ovinos en 1999 fue cercano a 6.3 millones de cabezas, número por demás pequeño, dadas las condiciones ambientales propias para la explotación de este ganado en el territorio nacional. Aproximadamente el 55% del inventario se encuentra en la zona centro del país, mientras que el norte y sur cuentan con el 25% y 20% del inventario respectivamente. Es en las zonas tropicales, donde se concentran mayoritariamente los ovinos de pelo<sup>a</sup>.

En México se consumieron cerca de 75,000 toneladas de carne de ovino en 1999, de las cuales, más de 40,000 fueron compradas en el extranjero. La importación de animales en pie y canales de borrego, fue aumentando de forma constante de 1996 a 1999 mientras que la producción de animales en México se mantuvo sin cambio<sup>a</sup>.

Lo anterior es un indicador de la necesidad de optimizar la producción de animales más aptos para el desarrollo de la ovinocultura, lo cual es posible a través de estrategias de manejo definidas, la evaluación de los genotipos existentes en México y el uso racional de las mismas

---

<sup>a</sup> Información proporcionada por la Asociación Mexicana de Criadores de Ovinos, A.C.

La raza Pelibuey es un borrego de pelo, lo que hace de esta raza una opción para la producción especializada en carne, ya que se evita el manejo de la trasquila. De igual forma, estos ovinos presentan ventajas en comparación con otras razas por su adaptación a diversos ecosistemas, la poca o nula estacionalidad reproductiva y su alta prolificidad, por lo que se ha distribuido en las regiones tropicales de país, representando en el año 2000, el 37% de los ovinos registrados ante la Asociación Mexicana de Criadores de Ovinos A.C.<sup>a</sup>

Entre las características importantes dentro de una unidad de producción de ovinos dedicada a la producción de carne, se encuentra el peso al destete, que refleja la capacidad del cordero para aprovechar el alimento que tiene a disposición en el periodo comprendido del nacimiento al destete así como la aptitud y capacidad de la madre para el cuidado de las crías a fin de lograr un buen peso al destete.

La forma más simple de seleccionar a un animal como reproductor es por la comparación entre la producción del individuo y la de sus contemporáneos; sin embargo, esto puede llevar a consideraciones subjetivas, debido a que la expresión de una característica está constituida por efectos genéticos heredables, genéticos no heredables –dominancia y epistasis– y efectos ambientales, de tal forma que seleccionar sólo por fenotipo, puede llevar a no escoger los mejores animales de la unidad de producción, ya que de los efectos antes mencionados sólo una porción es transmisible a la siguiente generación

Una forma de conocer la capacidad genética heredable de un individuo es por el análisis de su progenie con respecto a la media de sus contemporáneos, lo cual se conoce como Diferencia Esperada en la Progenie (DEP) que por la naturaleza misma de su transmisión representa la mitad de la capacidad genética del individuo. El conocer las DEP's de los individuos en una población, permite

---

<sup>a</sup> Información proporcionada por la Asociación Mexicana de Criadores de Ovinos AC

programar de una forma más eficiente los resultados de los apareamientos dentro del rebaño y evitar la salida de borregos que ofrezcan una mejora sustentable de la calidad y productividad del rebaño. La exactitud de la DEP aumenta conforme mayor sea la información con la que se cuente del individuo, por lo que, además de la progenie puede ser incluida la información de sus progenitores, de sus parientes colaterales y la información del mismo individuo.

A la evaluación genética de un individuo utilizando toda la información disponible de su genealogía se le conoce como Modelo Animal, el cual se ha popularizado, ya que además de sus bondades estadísticas puede ser ampliado según las necesidades y considerar así los efectos que pueden encubrir la capacidad genética del individuo. La utilización del Modelo Animal se ha difundido gracias a diversas estrategias estadísticas y de cómputo que han generado tecnologías aplicables a programas de mejoramiento genético de diversas especies productivas. Las evaluaciones genéticas constituyen la base para desarrollar programas que optimicen el uso racional de recursos genéticos

El objetivo del trabajo es:

- ✓ Estudiar la Diferencia Esperada en la Progenie para el peso al destete en borregos Pelibuey, estimada a partir del Modelo Animal en una unidad de producción y venta de pie de cría.

Objetivos complementarios:

- ✓ Determinar efectos ambientales involucrados en el peso al destete en ovinos Pelibuey, en un sistema semi-intensivo.
- ✓ Estimar los parámetros genéticos y ambientales para el peso al destete.
- ✓ Calcular la Diferencia Esperada en la Progenie, así como la exactitud de la misma, para el peso al destete.
- ✓ Analizar los cambios genéticos y fenotípicos para el peso al destete en una unidad de producción y venta de pie de cría, en el periodo estudiado.
- ✓ Proponer un programa de selección para la unidad de producción, basado en los resultados del presente trabajo

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 El borrego Pelibuey

El Pelibuey es un ovino productor de carne de talla mediana, que presenta tres variedades de color - blanco, café y pinto - de cuerpo anguloso, carente de cuernos, patas delgadas y cuello largo, en los machos adultos presenta un pelaje abundante y largo. La denominación de Pelibuey es de carácter popular regional y se refiere a un borrego con "pelo de buey"; algunos autores nacionales le denominan borrego Tabasco dado que en esta entidad se registraron los primeros estudios acerca de esta raza<sup>1 2</sup>.

Los orígenes de la raza Pelibuey son al parecer en las costas occidentales de África, debido a la presencia de ovinos semejantes en esos lugares –de cola delgada y cubierta de pelo– así como los constantes viajes comerciales entre las costas de este continente y el americano, donde no existe evidencia de la presencia del género *Ovis* antes del siglo XVI. Se desconoce con exactitud por donde fue introducido a nuestro país el Pelibuey, pero dada la similitud entre este ovino y el existente en la Isla Barbados se piensa que los primeros ejemplares proceden de esta isla, Cuba o cualquiera de las antillas y entraron a México por la península de Yucatán, difundándose en el sureste Mexicano, en donde prevalecen condiciones tropicales<sup>1 2 3 4</sup>.

Una vez en México, debido a su capacidad para producir en diversos climas, se fue difundiendo a los estados de Tabasco y Veracruz. Al conocerse más de esta raza se fue popularizando de tal forma, que en la última década, la distribución en el territorio nacional, así como el número de cabezas de esta raza, ha crecido en forma constante, encontrándose explotaciones que varían desde los sistemas rústicos de traspatio y libre pastoreo, hasta los sistemas intensivos comerciales; sin embargo, no ha tenido la selección especializada como otras razas productoras de carne<sup>1 3 4 5</sup>.



Otra particularidad importante de esta raza es la poca estacionalidad reproductiva, ya que es común que presenten estro durante todo el año, contrario a lo que ocurre con los ovinos de origen europeo y que son usados en la producción de leche y lana<sup>6</sup>. De igual manera la prolificidad es algo que caracteriza a esta raza, al presentar frecuentemente partos múltiples, que en ocasiones pueden llegar a 5 corderos nacidos vivos<sup>1 2 5</sup>. Algunas razas ovinas especializadas en producción de carne que son introducidas a los trópicos bajan su fertilidad, lo que tiene como consecuencia la disminución en la prolificidad, lo cual no ocurre con el Pelibuey, que ha manifestado buenos índices de fertilidad en trópico<sup>2</sup>.

## **2.2 El peso al destete en ovinos**

Entre las características importantes dentro de una unidad de producción dedicada a la producción de carne se encuentra el peso al destete (PD)<sup>7</sup>, el cual es el peso del cordero al final del periodo de lactación. Este pesaje está relacionado con valores posteriores y por lo tanto, con el peso a la finalización. El fenotipo del PD está influenciado por diversos efectos, lo que dificulta la selección adecuada de reproductores en la unidad de producción. Dichos efectos se pueden clasificar en fijos y aleatorios, los cuales se esquematizan en la figura 1

*Los efectos fijos* o ambientales permanentes, son aquellos donde se puede agrupar a los individuos que pertenecen a un mismo nivel de una variable independiente involucrada en la expresión de un carácter y que afectarán de forma importante la expresión del fenotipo; en el caso del PD del cordero destacan:

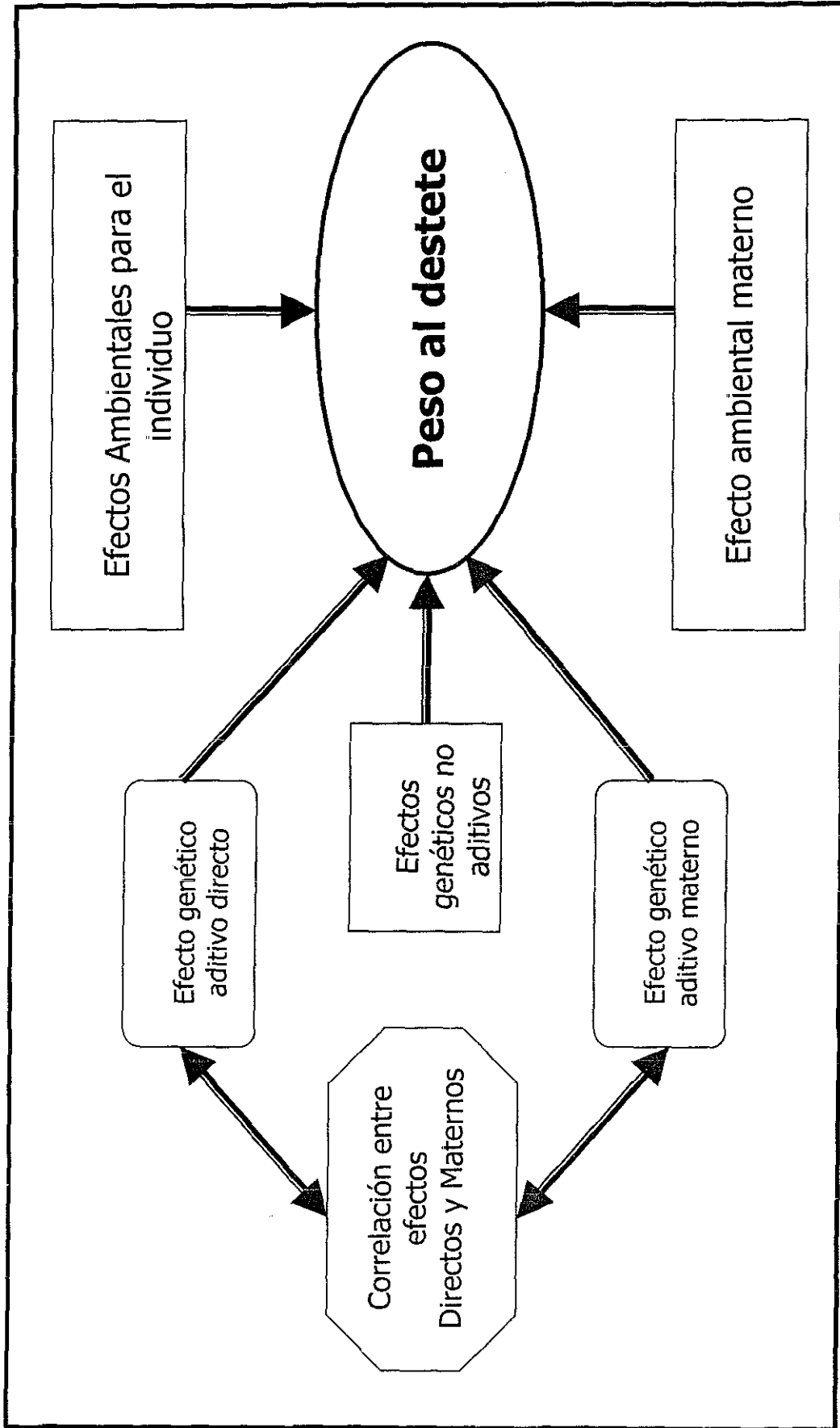


Figura 1. Efectos involucrados en el peso al destete

**Edad al destete.** Durante el periodo de lactación se hacen más evidentes los cambios de peso a través de los días, por lo que en el intervalo de una semana entre dos pesajes puede marcar diferencias entre los individuos. Se han analizado diferentes edades al destete para optimizar la edad al destete, que varían de los 45 a los 120 días, siendo al parecer los 75 días la edad óptima, ya que conforme avanza la edad la dependencia del cordero con la madre disminuye<sup>8</sup>. Sin embargo, la edad al destete variará, dependiendo en gran medida, de las prácticas de manejo propias de cada sistema productivo y de las características del mercado<sup>2</sup>.

**Año y Época de nacimiento.** La mayoría de los trabajos relacionados con el peso al destete en ovinos y otras especies coinciden en involucrar este factor, ya sea como un solo efecto (año-época)<sup>9, 10</sup>, por grupo de años<sup>11 12 13</sup> o bien separando la época y el año de nacimiento<sup>14 15 16</sup>, ya que esto puede explicar las variaciones ambientales y de manejo que se encuentran presentes al momento del nacimiento y del destete. Entre estas variaciones sobresalen la cantidad y calidad del alimento a disposición de la madre, prácticas sanitarias o condiciones climáticas<sup>5 9</sup>. Carrillo<sup>17</sup> reporta diferencias de los pesos al destete en ovinos de pelo entre las épocas de secas y lluvias, siendo los de esta última época más pesados, sin embargo, existen reportes donde el efecto de época no presentó efecto significativo sobre el peso al destete, tanto en el peso individual como en el de la camada al destete, lo cual puede ser reflejo de las condiciones de manejo en la unidad de producción<sup>5 18</sup>.

**Sexo del cordero.** Existen diferencias entre el peso al destete de machos y hembras, siendo generalmente de mayor peso los machos<sup>17 19</sup>. Estas diferencias parecen estar relacionadas a factores etológicos como son que los machos maman durante más tiempo<sup>14</sup>, tienen una actitud más dominante que las hembras y un mayor peso al nacimiento<sup>3 20</sup>.

**Número de parto** El número de parto de la madre del cordero es un factor importante en el desarrollo del cordero durante la lactación. De forma cotidiana una hembra de primer parto tendrá un desempeño menor con respecto a sus posteriores pariciones<sup>9</sup>; por lo tanto, el peso de los corderos al destete cambiará conforme avance el número de parto de una borrega<sup>5 17 19</sup>. De esta forma el peso del cordero destetado aumenta progresivamente entre el primer y el quinto parto, manteniéndose constante entre el sexto y el noveno parto y a partir del décimo se presenta una disminución del peso del cordero al destete<sup>9,16</sup>. De igual forma la prolificidad aumenta conforme la edad de la borrega, manteniéndose constante a partir del tercer o cuarto parto, lo que provoca un factor de confusión en la medición del fenotipo, ya que mientras los corderos de parto múltiple tienen un peso individual menor, los de segundo a quinto parto presentan un mayor peso al destete<sup>6 9</sup>.

**Tamaño de camada.** Diversos autores reportan diferencias cercanas a los dos kilogramos en el peso al destete entre corderos provenientes de partos múltiples y los provenientes de partos simples<sup>9, 11 16</sup>. Este efecto toma importancia en el Pelibuey debido a la prolificidad propia de la raza, lo cual tendrá como consecuencia un mayor número de corderos al nacimiento, lo que disminuirá el peso individual al nacimiento<sup>1 13, 15</sup>. Al aumentarse el número de corderos nacidos vivos, se presentará una mayor competencia por el alimento<sup>21</sup>, lo cual se reflejará en menores ganancias diarias de peso individuales. La competencia por el alimento se ve modificada por la mortalidad en la etapa de lactación; ésta se presenta más frecuentemente en las camadas con un mayor número de corderos al nacimiento<sup>1 13</sup>. Esta mezcla de factores modifica el peso individual al destete dentro de las camadas múltiples.

**Efecto ambiental materno** La capacidad genética de la borrega para proporcionar alimento a la camada, junto con las condiciones ambientales que

afectan a la hembra en sus diversos partos, al momento de estar amamantando, forman un medio ambiente común para los miembros de una misma camada, hermanos completos de diferentes partos o bien para medios hermanos maternos<sup>22</sup>. Este efecto toma mayor relevancia en especies como cerdos o conejos, donde las crías dependen completamente de la madre durante casi toda la lactación, por el confinamiento en que se encuentran las hembras con su camada. En el caso de ovinos, donde hay sistemas de manejo en los que la hembra y la cría no se encuentran en confinamiento permanente, existe poca claridad en la importancia de este efecto, ya que no se puede precisar hasta donde el cordero deja de depender del alimento proporcionado por la hembra

*Los efectos aleatorios* pueden ser desglosados en *genéticos no aditivos*, los cuales son explicados por los efectos de epistasia y dominancia, que al depender de combinaciones *intra-locus* e *Inter-loci*, no pueden ser transmitidos por el individuo, y los *efectos genéticos aditivos*, que son aquellos que sí pueden ser transmitidos a la progenie, en el caso del PD en corderos esto son:

**Efecto Genético Aditivo Directo** Es la capacidad genética del individuo para aprovechar el alimento a su disposición durante el periodo de lactancia, el cual es importante para futuros periodos de engorda porque puede considerarse como un indicador de crecimiento acelerado, lo que permite seleccionar corderos que alcancen el peso al mercado en un menor tiempo.

**Efecto Genético Aditivo Materno**. Representa la capacidad genética de la hembra para proporcionar condiciones para el desarrollo del cordero. Este efecto sólo es posible medirlo en hembras, por lo que para evaluar la capacidad genética de un macho para este efecto, se hará por medio de la información de hembras emparentadas con el semental.

### 2.3 La evaluación genética

La selección consiste en elegir a los animales adecuados, a partir de los criterios establecidos, para producir la siguiente generación. La forma más sencilla de elegir a un individuo para mejorar el peso al destete en ovinos, es considerando sólo el peso del cordero (fenotipo) comparado con el resto del rebaño, pero esto puede llevar a apreciaciones inexactas, debido a los diversos efectos involucrados en la característica y como consecuencia, a no elegir a los animales adecuados<sup>23</sup>.

Para lograr una mejor respuesta a la selección, es importante predecir el valor genético de un individuo (VG) el cual representa la diferencia del fenotipo del individuo con la media poblacional debida a los efectos genéticos aditivos. La forma más simple de calcular el VG es estimando el valor medio de su progenie para la característica de interés desviado del promedio de la población. Si un individuo se aparea con individuos tomados al azar, entonces su valor genético es el doble de la desviación media de su progenie con respecto a la media poblacional<sup>24</sup> y esta desviación es explicada por los efectos genéticos aditivos.

Para realizar la evaluación genética de forma objetiva, se utilizan diferentes metodologías que permiten considerar y eliminar factores de confusión en la elección de reproductores, aumentando por lo tanto la certeza en la selección de reproductores, al separar los efectos genéticos aditivos de los demás efectos.

En la evaluación genética de una población se consideran diversos puntos como son factores de ajuste, estimación de parámetros genéticos, predicción del valor genético, confianza de la evaluación y cálculo de la diferencia esperada en la progenie.

### 2.3.1 Factores de ajuste

Uno de los principales problemas para poder realizar una evaluación confiable es el de tener información equiparable que facilite la toma de decisiones y permita detectar a los animales de mayor mérito genético para ser progenitores de la próxima generación<sup>9 25</sup>.

Un importante número de factores ambientales están involucrados en la manifestación de una característica; algunos de éstos pueden ser removidos a partir de factores de ajuste, siempre y cuando se encuentren determinados y registrados en la base de datos<sup>19</sup>. La utilización de estos factores de ajuste permite analizar la información a partir de un modelo más simple, dejando para el análisis aquellos efectos donde no exista suficiente información para calcular los factores de ajuste, o bien existan limitantes técnicas para su cálculo. Los factores de ajuste pueden ser clasificados en:

- I Factores de ajuste multiplicativos. Son utilizados cuando los cambios en la característica de interés cambia en forma lineal con respecto al efecto fijo que se busca eliminar. Este tipo de factores modifican la varianza fenotípica, lo que puede tener consecuencias en el cálculo de los parámetros genéticos que estén relacionados con ella<sup>20</sup>. En el caso del peso al destete, este presenta un aumento lineal con respecto a la edad al destete, por lo que es factible corregir este efecto por medio un factor de ajuste multiplicativo.
  
- II Factores de ajuste aditivos. Estos factores pueden ser utilizados cuando la diferencia entre los niveles del efecto que se desea remover no tenga un comportamiento lineal, como es el caso del peso al destete en corderos según el número de parto de la madre<sup>19, 20</sup>. Este tipo de factores, al utilizar la media de los niveles del efecto que se busca ajustar, estarán afectados por los datos extremos, lo que puede ocasionar que existan sobre-estimaciones o sub-estimaciones.

Es importante señalar que los factores de ajuste tienen rangos efectivos de utilización y que es importante que disminuyan la probabilidad de sobre-estimar o sub-estimar el valor genético del individuo; esto se logra calculando factores de ajuste a partir de la información que será analizada para obtener esta estimación de forma más exacta<sup>25 26</sup>.

### 2.3.2 Componentes de la varianza fenotípica

La varianza fenotípica ( $\sigma^2_F$ ) de una característica está determinada por la suma de las varianzas de los efectos que la constituyen, de forma tal que si se descompone la  $\sigma^2_F$  en sus diversos componentes, estará constituida por las varianzas debidas a los efectos ambientales, efectos genéticos aditivos y una porción de la varianza debida a los efectos fijos que afectan al individuo y a causas no conocidas; la cual se denomina varianza residual. En el caso de caracteres con alta influencia materna, como en el caso del peso al destete, los efectos atribuibles a la madre aportan una porción de la  $\sigma^2_F$ , de tal forma que ésta quedaría constituida de la siguiente manera:

$$\sigma^2_F = \sigma^2_{AD} + \sigma^2_{AM} + \sigma_{AD-AM} + \sigma^2_{EP} + \sigma^2_w,$$

donde

- $\sigma^2_F$  = Varianza fenotípica de la característica de interés
- $\sigma^2_{AD}$  = Varianza de efectos genéticos aditivos directos
- $\sigma^2_{AM}$  = Varianza de efectos genéticos aditivos maternos
- $\sigma_{AD-AM}$  = Covarianza entre los efectos genéticos aditivos y maternos
- $\sigma^2_{EP}$  = Varianza de los efectos ambientales permanentes maternos
- $\sigma^2_w$  = Varianza residual



Para la estimación de los componentes de varianza, existen diferentes métodos como son la regresión progenitor-descendencia o un análisis de varianza donde se utilice la información de sementales y su progenie.

El uso de Estimadores de Máxima Verosimilitud Restringida (REML, por sus siglas en inglés; Restricted Maximum Likelihood) permite estimar componentes de varianza a partir de datos desbalanceados, considerando la covarianza entre efectos aleatorios. Los estimadores REML requieren que la variable de interés tenga una distribución normal multivariada y toma en cuenta los grados de libertad involucrados en la estimación de efectos fijos, incluida la media<sup>22, 27 28 29</sup>

Esta metodología requiere de una gran cantidad de tiempo de cómputo, por lo que se han desarrollado algoritmos para disminuirlo. Entre los algoritmos utilizados se encuentra el procedimiento de EMREML (esperanza-maximización) el cual tiene la atractiva propiedad de que garantiza la convergencia si se utilizan estimadores positivos de la varianzas, aun en aquellos casos donde otras técnicas de iteración tienen problemas con estimadores negativos o valor de cero. Sin embargo puede aumentar de forma considerable las necesidades de cómputo. El procedimiento libre de derivadas (DFREML) tiene la ventaja de usar una búsqueda unidimensional para componentes de varianza sin la inversión de la matriz de coeficientes de modelos mixtos, lo que reduce el tiempo y costo de computación, además la eficiencia computacional de DFREML permite el manejo de un mayor número de ecuaciones, de tal manera que pueden incorporarse efectos aleatorios adicionales, como los efectos aditivos y permanentes maternos<sup>30</sup>

**Parámetros genéticos.** A partir de la partición de la  $\sigma_F^2$  en sus diversos componentes es posible estimar la heredabilidad ( $h^2$ ) la cual representa la porción de la  $\sigma_F^2$  explicada por efectos aditivos, ya sean directos ( $\sigma_{AD}^2$ ) o maternos ( $\sigma_{AM}^2$ ) dependiendo del caso y que se calcula de la siguiente manera:

$$h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_I^2}$$

La  $h^2$  es una propiedad de un carácter en una población determinada y nos permite conocer la posible respuesta a programas de mejoramiento genético, de tal forma que  $h^2$  bajas tendrán poca respuesta a la selección<sup>20</sup>.

La covarianza entre los efectos aditivos directos y maternos ( $\sigma_{AD-AM}$ ) permite conocer la correlación genética entre ambas características la cual indica el grado de asociación existente entre dichos efectos para PD y puede tomar valores de -1.0 a 1.0. La correlación genética puede ser calculada de la siguiente manera:

$$r_G = \frac{\sigma_{AD-AM}}{\sqrt{\sigma_{AD}^2 \sigma_{AM}^2}}$$

Una  $r_G$  negativa indica que los valores para estos efectos cambiarán de forma opuesta en un esquema de selección, así al seleccionar a favor de los efectos aditivos directos se estará seleccionando en contra de los efectos aditivos maternos, lo cual provocará que el cambio genético entre generaciones sea escaso. En el caso de una  $r_G$  cercana o igual a cero, indicará poca o nula asociación entre ambos efectos, por lo que pueden encontrarse reproductores que presenten efectos aditivos favorables para una característica pero no para la otra, lo cual hará que la respuesta a la selección sea moderada. Considerando los casos anteriores, es posible la formación de líneas especializadas para cada efecto y pueden utilizarse en esquemas de cruzamiento. En el caso de  $r_G$  positiva y cercana a uno, se obtiene un mayor cambio a la siguiente generación al permitir una mayor disponibilidad de reproductores que mejoren ambas características<sup>19</sup>

31

En características con influencia materna como es el caso del PD, una porción de la  $\sigma_F^2$  es explicada por las condiciones que rodean a la hembra y que, en conjunto

con el efecto de la madre, forman un ambiente común para los miembros de una misma camada. Este componente se denomina efecto ambiental materno ( $\sigma_{EP}^2$ ) y la proporción de este componente en la  $\sigma_F^2$  ( $C^2$ ) indicará la importancia de la calidad del manejo que recibe la hembra, así como de los efectos genéticos maternos involucrados durante el periodo de cría<sup>10 22</sup>.

Los parámetros genéticos para peso al destete en ovinos han sido descritos por varios autores, los cuales se sintetizan en el cuadro 1, donde se presentan las proporciones de las varianzas para efectos aditivos directos ( $h_D^2$ ) efectos aditivos maternos ( $h_M^2$ ) la correlación genética entre ambos efectos ( $r_G$ ) y efectos permanentes maternos ( $C^2$ ) estimados por diversos autores

### 2.3.3 Predicción del valor genético

Convencionalmente la expresión  $VG = h^2 (p_i - \mu)$  se ha utilizado para predecir el VG, con base al registro propio de los animales pertenecientes a un grupo contemporáneo, donde  $h^2$  es la heredabilidad,  $p_i - \mu$  es la desviación del registro fenotípico del i-ésimo animal con respecto a la media fenotípica de su grupo contemporáneo<sup>22</sup>. Lo anterior se expresa en forma de una regresión simple, si consideramos los registros de los individuos como desviaciones con respecto a la media poblacional, la expresión queda resumida  $VG = b_i X_i$  Donde  $b_i$  es un coeficiente de regresión del genotipo del individuo con respecto a su fenotipo, la cual está representada por la  $h^2$  y  $X_i$  es la información individual desviada con respecto a la media poblacional<sup>26</sup>

**Cuadro 1**

**Estimaciones de heredabilidad descritos en la literatura para efectos aditivos directos ( $h^2_D$ ), aditivos maternos ( $h^2_M$ ) y correlación genética entre ellos ( $r_G$ ) así como del efecto ambiental permanente materno ( $C^2$ ) en diversas razas de ovinos para peso al destete**

<b>Autor (año)</b>	<b>Raza</b>	<b>Edad (días)</b>	<b><math>h^2_D</math></b>	<b><math>h^2_M</math></b>	<b><math>r_G</math></b>	<b><math>C^2</math></b>
Carrillo (1993) <sup>17</sup>	Pelibuey	120	0.12	nm <sup>a</sup>	nm	nm
Carrillo (1993) <sup>17</sup>	Black Belly	120	0.17	nm	nm	nm
María (1993) <sup>32</sup>	Romanov	40	0.34	0.25	0	nm
Tosh (1994) <sup>7</sup>	Hampshire	50	0.16	0.14	-0.57	0.27
Tosh (1994) <sup>7</sup>	Hampshire	100	0.39	0.19	-0.74	0.20
Tosh (1994) <sup>7</sup>	Dorset	50	0.21	0.19	-0.42	0.18
Tosh (1994) <sup>7</sup>	Dorset	100	0.25	0.08	-0.31	0.19
Tosh (1994) <sup>7</sup>	Romanov	50	0.05	0.06	-0.39	0.21
Tosh (1994) <sup>7</sup>	Romanov	100	0.14	0.02	0.43	0.12
Ramírez (1996) <sup>4</sup>	Pelibuey	nm	0.18	nm	nm	nm
Analla (1997) <sup>33</sup>	Segureña	45	0.34	nm	nm	nm
Analla (1998) <sup>34</sup>	Merino	60	0.08	0.16	0	0.03
Analla (1998) <sup>34</sup>	Merino	90	0.13	0.04	-0.01	0.06
Ligda (2000) <sup>15</sup>	Chios	42	0.18	0.19	-0.44	0.17
Pliego (2001) <sup>35</sup>	Peilibuey	75	0.35	nm	nm	nm

<sup>a</sup>nm = no mencionado

La predicción de VG, se hace de forma más exacta aumentando fuentes de información que compartan efectos genéticos aditivos con el individuo como son, su progenie, ancestros o parientes colaterales<sup>26</sup>, de tal forma que la predicción del VG toma la forma de una regresión múltiple, donde es necesario obtener ponderadores para cada fuente de información. Esto último se conoce como índice de selección con diversas fuentes de información, el cual reduce el error en la predicción y clasifica los animales de mayor a menor, con base al VG con una alta probabilidad de que esta clasificación sea correcta. El índice de selección es flexible en el sentido de que puede incorporar varias fuentes de información para predecir el VG de un individuo, aunque se deben de obtener los ponderadores cada vez que ingresa una nueva fuente de información<sup>26</sup>.

Entre los inconvenientes de esta metodología, está el requerir factores de ajuste que permitan remover al máximo los efectos fijos que se encuentren relacionados con la característica. Estos factores de ajuste se tienen que recalculan para cada grupo nuevo de animales y además pueden llevar a errores en la predicción de los VG, en caso de que la información con los que se calcule sea insuficiente<sup>25</sup>. Otra desventaja del índice de selección es que no puede eliminar las diferencias promedio de los valores genéticos entre los grupos contemporáneos, debido a que usa como información, desviaciones de la media del grupo contemporáneo, suponiendo así que todos los grupos son genéticamente iguales. Este problema se manifiesta aun más cuando existe la presencia de tendencia genética en la población, por lo que los grupos contemporáneos recientes deberán ser genéticamente diferentes de los grupos anteriores<sup>26</sup>.

En comparación con el índice de selección tradicional, el Modelo Animal (MA) permite considerar de forma simultánea, toda la información disponible de aquellos individuos que tengan relación de parentesco con el animal que se quiere evaluar y por lo tanto, permite realizar evaluaciones genéticas tanto para animales con registros como para animales sin ellos, siempre y cuando se cuente con

información de parientes. Así mismo pueden incluirse efectos fijos y aleatorios por lo que puede ser expandido según las necesidades<sup>35</sup>. Sin embargo se debe considerar que la utilización de esta metodología exige un estricto control de producción, ya que un registro de producción erróneo, puede conectar familias y alterar de forma importante la evaluación genética de los animales.

El MA se popularizó en la evaluación genética de animales a partir de la adopción de las metodologías de Henderson, relativas a ecuaciones de modelos mixtos y del Mejor Predictor Lineal Insesgado (BLUP, por sus siglas en inglés 'Best Linear Unbiased Predictor') lo que permite predecir los VG de los individuos, de forma tal que aprovecha las ventajas del índice de selección y considera las diferencias existentes entre los diversos grupos contemporáneos debido a efectos de selección. Este desarrollo metodológico se ha facilitado por el desarrollo en el área de la computación, lo que ha permitido que el MA reemplace a otros procedimientos de evaluación genética<sup>22</sup>

La confiabilidad en la predicción del VG se aumenta con la incorporación de la inversa de la matriz de parentesco ( $A^{-1}$ ) en el análisis de modelos mixtos, como lo demostró Henderson en 1973. Esta matriz de parentesco utiliza eficientemente la información del pedigrí disponible en las soluciones del VG, así como la inspección de tendencias genéticas. Una matriz de parentesco puede incluir animales con registro, sementales y hembras con registro de progenie y ancestros comunes que no cuentan con registro, también es posible obtener soluciones para animales jóvenes que carezcan de progenie, siempre y cuando cuenten con información de parientes<sup>22</sup>.

El MA con efectos maternos se usa cuando se evalúan características influenciadas por la madre<sup>36</sup>. Este MA es relevante en la evaluación genética de la característica peso al destete que considera un carácter relativo al crecimiento, influido por efectos genéticos directos, efectos genéticos maternos

(primordialmente producción láctea) y por diferencias ambientales permanentes comunes a miembros de una misma camada<sup>22</sup>. El modelo matricial para este tipo de características es:

$$y = Xb + Zu_d + Zu_m + W_p + e$$

Donde  $y$  es un vector de valores fenotípicos,  $b$  es un vector desconocido de efectos fijos involucrados en la característica que incluye a la media poblacional,  $u_d$ , es un vector desconocido de efectos genéticos aditivos individuales,  $u_m$  es un vector desconocido de efectos genéticos maternos,  $p$  es un vector de efectos ambientales permanentes y  $e$  es un vector de efectos residuales aleatorios desconocidos y  $X$ ,  $Z_d$ ,  $Z_m$  y  $W_p$  son matrices de incidencia que relaciona los registros -vector  $y$ - con los efectos fijos, aditivos directos, aditivos maternos y permanentes respectivamente<sup>22</sup>.

Para hacer más eficiente el uso de las ecuaciones del modelo mixto, es necesario añadir en la diagonal de la matriz  $A^{-1}$  una razón de varianzas, que en el caso del MA con efectos directos y maternos se construye a partir de una matriz de 3 x 3, llamada  $V$  la cual se construye de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} \frac{\sigma_{AD}^2}{\sigma_w^2} & \frac{\sigma_{AD-AM}}{\sigma_w^2} & 0 \\ \frac{\sigma_{AD-AM}}{\sigma_w^2} & \frac{\sigma_{AM}^2}{\sigma_w^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\sigma_{EP}^2}{\sigma_w^2} \end{bmatrix} \text{ Lo cual puede ser expresado : } \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & 0 \\ V_{21} & V_{22} & 0 \\ 0 & 0 & V_{33} \end{bmatrix}$$

Los elementos que se añaden a la diagonal de la matriz de parentesco son los elementos de la inversa de la matriz  $V$  ( $V^{-1}$ ) estos elementos se aumentan por la

matriz  $A^{-1}$ , de tal forma que las ecuaciones de modelos mixtos de Henderson quedan como sigue:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z_d & X'Z_m & X'W_p \\ Z_d'X & Z_d'Z_d + V^{11}A^{-1} & Z_d'Z_m + V^{12}A^{-1} & Z_d'W_p \\ Z_m'X & Z_m'Z_d + V^{21}A^{-1} & Z_m'Z_m + V^{22}A^{-1} & Z_m'W_p \\ W_p'X & W_p'Z_d & W_p'Z_m & W_p'W_p + V^{33}I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{u}_d \\ \hat{u}_m \\ \hat{p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z_d'y \\ Z_m'y \\ W_p'y \end{bmatrix}$$

Donde  $X$ ,  $Z_d$ ,  $Z_m$  y  $W_p$  son matrices de incidencia que relacionan los registros – vector  $y$  – con los efectos fijos, aditivos directos, aditivos maternos y permanentes respectivamente y las soluciones para dichos efectos se obtienen a partir de los vectores  $\hat{b}$ ,  $\hat{u}_d$ ,  $\hat{u}_m$  y  $\hat{p}$ <sup>22</sup>.

Para obtener la solución de las ecuaciones anteriores, se requiere conocer *a priori* los componentes de la varianza fenotípica. En caso contrario se puede utilizar estimadores REML, que bajo ciertas restricciones estiman libre de sesgo los componentes de varianza requeridos para la evaluación de animales en una población que ha experimentado selección, a través de ecuaciones de modelos mixtos<sup>22, 28, 29</sup>.

Los estimadores REML para componentes de varianza permiten derivar los Mejores Estimadores Lineales Insegados (BLUE, por sus siglas en inglés ‘Best Lineal Unbiased Estimator’) y con ellos se obtienen estimadores puntuales para cada nivel de cada efecto fijo, considerando la probabilidad de ocurrencia de cada uno de ellos dentro de la población y ajustando cada efecto, por medio de estimadores de mínimos cuadrados, lo cual maximiza la exactitud de la estimación



de dichos componentes, disminuyendo el empleo de factores de ajuste calculados antes de la evaluación para remover efectos fijos<sup>22, 28, 29</sup>.

La función para calcular una solución BLUP para el VG de un individuo es la siguiente<sup>37</sup>:

$$\hat{u} = E(u) + \frac{COV(u, y')}{VAR(y)} [y - E(y)]$$

Donde  $\hat{u}$  corresponde a la solución BLUP que representa el valor genético,  $u$  corresponde al valor genético, mientras que  $y$  es el valor fenotípico ajustado para los efectos fijos involucrados en la característica.

Lo anterior puede ser expresado en forma matricial para un conjunto de animales de la siguiente manera:

$$BLUP(u) = AZ'V^{-1}(y - Xb)$$

Donde  $u$  son los efectos aleatorios que representan el VG,  $A$  es una matriz de soluciones genéticas aditivas,  $Z$  una matriz de incidencia que relaciona las observaciones con los efectos genéticos aditivos con los registros,  $V^{-1}$  es la inversa de la matriz de varianzas,  $y$  corresponde a un vector de registros individuales,  $X$  es una matriz de incidencia que relaciona los registros con el vector  $b$  que corresponde a las soluciones de los efectos fijos.

#### **2.3.4 Diferencia esperada en la progenie**

La Diferencia Esperada en la Progenie (DEP) representa la predicción del aporte genético aditivo de un individuo a su descendencia, expresado como una desviación de la media poblacional. La DEP representa el 50 % del VG, debido a que un progenitor como resultado de la meiosis, aporta ese porcentaje de sus genes a su descendencia.

La evaluación de la DEP de un individuo es válida en el grupo de animales que participaron en la evaluación y se deberá considerar que la utilización del individuo como reproductor en una población distinta, tendrá resultados diferentes a los de su evaluación, ya que los componentes ambientales y parámetros genéticos de la población pueden ser diferentes a los de la población del individuo<sup>38 39</sup>.

En el peso al destete se consideran dos DEP's, la DEP debida a los efectos genéticos aditivos directos ( $DEP_D$ ) la cual corresponde a la capacidad genética aditiva del individuo para tener un peso al destete y la DEP que representa la capacidad de la madre para influir en el peso al destete de la cría ( $DEP_M$ ) lo cual en el caso de los sementales será la diferencia que se espera para el peso al destete de las crías obtenidas de sus hijas<sup>40 41</sup>.

De forma general las características que dependen en buena medida de la hembra, como es el caso del peso al destete, tienen valores de heredabilidad entre 0 y 0.20, por lo que los valores de DEP suelen ser pequeños en comparación con la media fenotípica<sup>42</sup>.

#### **2.3.5 Exactitud en la predicción de la Diferencia Esperada en la Progenie**

La exactitud en la predicción de la DEP en los progenitores de la próxima generación es una de las mejores herramientas disponibles para obtener la máxima respuesta a la selección<sup>43</sup>, debido a que la DEP de un individuo para una

característica específica puede cambiar conforme se anexen fuentes de información en el cálculo del VG, por lo que es importante conocer la estabilidad de la DEP antes de ingresar un individuo como reproductor.

La exactitud de la DEP, es la correlación entre el VG real y el VG predicho para la característica de interés ( $r_{TI}$ ) y es un indicador de la cantidad de información disponible al momento del cálculo de la DEP. La exactitud (EXAC) toma valores de 0% a 99% <sup>42</sup> y puede ser dividida en 4 grupos como se describe en el cuadro 2<sup>40</sup>:

<b>Cuadro 2</b>	
<b>Grupos de exactitud para las predicciones de las diferencias esperadas en la progenie.</b>	
<b>Nivel de exactitud</b>	<b>Rango</b>
Baja	Menores de 0.40
Regular	0.41 a 0.60
Moderada	0.61 a 0.80
Alta	Mayores de 0.80

Los valores de EXAC bajos y regulares, corresponden a animales con pocas fuentes de información y cuyas DEP's pueden cambiar conforme aumenten éstas, siendo estos cambios de mayor magnitud en el grupo con EXAC menores a 0.40, mientras que las EXAC altas corresponden a DEP's estables a pesar de que aumenten las fuentes de información<sup>38, 40</sup>.

### **2.3.6 Consideraciones para la evaluación genética entre rebaños**

Para aumentar la EXAC en el cálculo de la DEP es importante conectar genéticamente -por medio de animales emparentados- diferentes rebaños y así considerar la varianza debida a los criterios de manejo propios de las diferentes unidades de producción.

Esta conectividad es posible utilizando herramientas reproductivas como la inseminación artificial<sup>44</sup>, que en el caso de ovinos, se ve limitada por una serie de factores como son la anatomía del cérvix, la metodología para sincronizar e inducir el celo, la amplia diversidad en la calidad de semen, la sensibilidad del semen ovino a los cambios de temperatura y principalmente, por factores ambientales atribuibles a la unidad de producción<sup>44, 45</sup>.

Existen diferentes técnicas que permiten solucionar algunos de los problemas anteriores como son la inseminación intrauterina, el desarrollo de métodos de conservación de semen o el uso de diferentes métodos para sincronización de celos. Estas técnicas tienen distinto grado de facilidad, por lo que su desarrollo depende de la tecnificación de la unidad de producción y de que el precio en el mercado de los productos ovinos permita amortizar su uso<sup>44</sup>.

Otras de las limitantes para el cálculo de DEP entre rebaños, son la incipiente estructura organizativa entre productores, la falta de esquemas de evaluación claros dentro de las asociaciones de registro y principalmente, el bajo nivel de conciencia acerca de la importancia del control de producción entre los técnicos agropecuarios, médicos veterinarios zootecnistas y ganaderos.

### **2.3.7 Cambios genéticos y fenotípicos en la población a través del tiempo**

En una unidad de producción, los cambios en la media fenotípica a través del tiempo están determinados por las variaciones en los factores ambientales y genéticos dentro de la población. Estos cambios permiten evaluar la eficiencia de los criterios de manejo y mejoramiento genético en el avance sustentable de la producción del rebaño y estarán directamente relacionados con las ganancias económicas en la unidad de producción, por lo que es importante evaluar esta variable de forma constante.

Las diferencias ambientales entre ciclos productivos, se explican por prácticas de manejo como la alimentación o programas sanitarios y por variaciones climáticas como la precipitación pluvial, que tienen un efecto importante en la disponibilidad y calidad del forraje, siendo este efecto más notorio en aquellos sistemas de producción que dependen principalmente de alimentación en potrero<sup>46 47</sup>. Una forma de analizar la tendencia ambiental en el rebaño, es usando estimadores de los efectos fijos relacionados con el cambio en el tiempo, como son los efectos de época, año o ambos, usando las respectivas soluciones BLUE - REML en los modelos mixtos utilizados para las estimaciones genéticas.

Simultáneamente al cambio ambiental, existen modificaciones en los efectos genéticos en la población a través del tiempo, lo cual se conoce como tendencia genética y que es resultado de los programas de selección dentro de la unidad de producción. La tendencia genética puede ser expresada en forma de una regresión lineal simple, donde la unidad de tiempo es la variable independiente y el VG de los corderos nacidos en ese año será la variable de respuesta<sup>46, 47, 48 49</sup>. Las soluciones BLUP del Modelo Animal usando REML, permiten estimar la tendencia genética dentro de la población aprovechando todas las ventajas de esta metodología, lo que facilita realizar evaluaciones más exactas de los programas de mejoramiento genético dentro de la población<sup>47, 49</sup>.

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1 Características generales de la unidad de producción

El presente estudio se realizó en una unidad de producción de ovinos de la raza Pelibuey, ubicada en el municipio de Chalma, Estado de México. El clima de la zona se clasifica como semi-cálido sub-húmedo con lluvias en verano, con una temperatura promedio de 19.8 °C y una precipitación pluvial anual de 1919.9 mm<sup>50</sup>. El rancho cuenta con sistema de riego en praderas y es atravesado por el río Chalma.

La población anual es de aproximadamente 220 hembras, 12 sementales y 350 corderos. La principal actividad comercial del rancho es la venta de hembras y sementales para reemplazo y una porción de los animales producidos en el rancho son destinados para el abasto.

La alimentación en el rebaño consiste en pastoreo diurno de las hembras con sus corderos en praderas de Estrella de Surinam (*Cynodon nlemfuensis*) y por la tarde son estabuladas recibiendo a libre acceso suplemento con 17% de proteína y sales minerales. Los machos permanecen estabulados recibiendo una dieta de forraje y suplemento con 14% de proteína, mientras que las hembras vacías y gestantes permanecen en un solo lote en pastoreo diurno y por las tardes reciben concentrado con 20% de proteína.

El empadre se realiza durante todo el año en forma controlada, evitando apareamientos consanguíneos y repitiendo, hasta donde es posible, aquellos que han dado buenos resultados según el criterio del productor.

El cordero es aretado recién nacido y permanece de tres a cinco días junto con la madre en corraletas en el área de maternidad, pasado este periodo el cordero sale a pastoreo junto con la borrega. Las hembras con tres o más corderos nacidos

vivos permanecen un mayor tiempo recibiendo suplementación alimenticia y salen a pastoreo a criterio del responsable del rancho. El destete se hace los primeros días de cada mes y son destetados aquellos corderos que hayan nacido en los tres meses anteriores, sin considerar el día de nacimiento, en caso de corderos de bajo peso, permanecen un mayor tiempo con la madre.

Durante el periodo comprendido entre los años de 1985 y 1990, el principal criterio de selección dentro de la unidad de producción fue la ganancia diaria pre-destete, dejando excluido el tamaño de camada de donde provenía el cordero. De 1991 a 1995 el tamaño de camada fue el principal criterio de selección dentro del rebaño y de 1996 a 2000 además del tamaño de camada de donde provenía el cordero, se consideró la ganancia diaria de peso pre-destete como los dos principales criterios de selección dentro de la unidad de producción.

### **3.2 Registros de producción**

Los registros de producción proporcionan la siguiente información: identificación del cordero y de sus progenitores, peso al nacimiento y al destete, edad al destete, sexo, tamaño de la camada de procedencia al nacimiento y al destete, año y época de nacimiento (época de lluvias de mayo a septiembre y época de secas de octubre a abril) y número de parto de la madre. Los registros con información dudosa o incompletos fueron eliminados, con excepción de aquellos registros que en los que sólo faltara la identificación del padre, permaneciendo en la base de datos 4,904 registros

Durante el periodo que abarcó del año de 1985 al 2000, se utilizaron 65 sementales, de los cuales 33 tuvieron menos de 10 crías, 20 tuvieron de 11 a 100 progenies y 12 presentaron mas de 100 crías. De los sementales utilizados 31 fueron introducidos, 24 fueron reemplazos procedentes de la misma unidad de producción y 10 sementales ya se encontraban en la unidad de producción antes

del año de 1985. Las 911 hembras utilizadas como madres fueron reemplazos del mismo rancho.

Los pesos al destete se ajustaron en forma lineal a los 75 días (P75D) que fue la edad promedio de la población, usando un factor de corrección sobre la base de la ganancia diaria de peso individual, de la siguiente manera <sup>20</sup>:

$$P75D = \left( \frac{\text{Peso al destete} - \text{Peso al nacimiento}}{\text{Edad al destete}} \right) \times 75 + \text{Peso al nacimiento}$$

Debido a factores de manejo involucrados, como la alimentación con mamila o las enfermedades, se eliminaron los registros con P75D menores a 5.5 kg, con más de 120 días en lactación y con un tamaño de camada al nacimiento superior a 3. Para el presente estudio se utilizaron los registros de producción de 4,438 corderos, además de 265 progenitores sin registro de producción propio.

La consanguinidad promedio del rebaño fue de 0.002, siendo el 3% de los individuos consanguíneos, que presentaron una consanguinidad promedio de 0.083 con un máximo de consanguinidad de 0.25 y un mínimo de 0.063.

### **3.3 Análisis preliminares**

Para determinar los efectos fijos a incluir en el modelo final para analizar el peso individual al destete ajustado a 75 días (P75D) se consideraron: año de nacimiento (AN) época de nacimiento (EN=1 como de lluvia y EN=2 como de secas) peso al nacimiento, número de parto de la madre (NP), tamaño de camada al nacimiento (TC), número de corderos destetados en la camada (CD) y sexo del cordero (SX).

Se analizaron diferentes modelos con diversas combinaciones de los efectos antes mencionados, las interacciones de primer orden entre ellos, así como agrupaciones de los diferentes niveles de una misma variable o entre variables. El



estudio de los modelos se realizó por medio de análisis de varianza para datos desbalanceados, usando el procedimiento GLM en SAS<sup>51</sup>, considerando el modelo mas adecuado el que presentó el mayor coeficiente de determinación.

Los efectos del modelo final fueron año-época de nacimiento (AEN), sexo del cordero (SX), tamaño de la camada al nacimiento y al destete (TCCD) y número de parto (NP) como covariable. Fueron agrupados los NP del sexto al noveno y superiores al decimo al no existir diferencia significativa dentro de los niveles en esos grupos ( $p > 0.05$ ) y para la variable TCCD se consideraron cinco niveles al no encontrarse diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre los grupos de tres nacidos-tres destetados y tres nacidos-dos destetados. El modelo de los efectos fijos relacionados con la característica fue:

$$y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + \beta_1(X_{ijkl} - \bar{X}_l) + \beta_2(X_{ijkl} - \bar{X}_l)^2 + e_{ijkl},$$

Donde:

- $y_{ijkl}$  = P75D del cordero
- $\mu$  = Media poblacional de P75D
- $A_i$  = Efecto del i-ésimo nivel de año-época de nacimiento ( $i = 1987-1, 1987-2, 1988-1 \dots 2001-2$ )
- $B_j$  = Efecto de j-ésimo nivel de sexo del cordero ( $j = \text{macho, hembra}$ )
- $C_k$  = Efecto del k-ésimo nivel del tamaño de camada al nacimiento-tamaño de camada destetada ( $k = 1-1, 2-1, 2-2, 3-1, 3-2$ )
- $X_l$  = Efecto de número de parto donde nació el cordero ( $l = 1, 2, \dots, 7$ )
- $\beta_1$  = Coeficiente de regresión lineal de la covariable número de parto
- $\beta_2$  = Coeficiente de regresión cuadrático de la covariable número de parto, y
- $e_{ijkl}$  = Efecto aleatorio  $\sim NI(0, \sigma^2)$

### 3.4 Estimación de componentes de varianza

Para la obtención de los componentes de varianza aditiva directa y materna, del efecto ambiental permanente materno y la covarianza entre efecto aditivo directo y materno, se utilizó el siguiente modelo representado matricialmente:

$$y = Xb + Zu_d + Zu_m + Wp + e$$

Donde:

- $y$  = Vector de valores fenotípicos para P75D
- $X$  = Matriz de incidencia que relaciona los efectos fijos con las observaciones
- $b$  = Vector de efectos fijos involucrados en la característica, incluyendo la media poblacional, AEN, SX, TCCD y la covariable NP.
- $Z$  = Matriz de incidencia que relaciona los efectos aditivos con los registros
- $u_d$  = Vector de efectos genéticos aditivos directos
- $u_m$  = Vector de efectos genéticos aditivos maternos
- $W$  = Matriz de incidencia que relaciona los efectos ambientales permanentes con los registros
- $p$  = Vector de efectos ambientales permanentes maternos, y
- $e$  = Vector de efectos aleatorios desconocidos

Los componentes de varianza fueron obtenidos utilizando el programa DFREML<sup>52</sup> usando un modelo univariado con un criterio de convergencia de  $1 \times 10^{-8}$ , es decir, cuando la diferencia entre el valor de verosimilitud de la última y penúltima iteración es menor a  $1 \times 10^{-8}$ . Se utilizaron diversos valores iniciales de  $h^2_D$  entre 0.12 y 0.35, para  $h^2_M$  de 0.0.6 a 0.25 y de  $C^2$  se consideraron valores iniciales entre 0 y 0.27. Los valores utilizados fueron tomados de la literatura y se encuentran en el cuadro 1, anteriormente presentado.

La estimación de la heredabilidad de efectos directos ( $h^2_D$ ) la heredabilidad para efectos maternos ( $h^2_M$ ) y el efecto de ambiente permanente materno ( $C^2$ ) fue a partir de la proporción de los respectivos componentes de varianza estimados en relación con la varianza total.

### 3.5 Cálculo de las diferencias esperadas en la progenie y exactitud en la predicción

En la estimación de las soluciones para los efectos fijos, la predicción de los VG y la correlación entre el valor predicho y el valor real ( $r_{TI}$ ) se utilizó el programa MTDFREML<sup>53</sup>. Los valores iniciales utilizados para el programa MTDFREML fueron los calculados a partir del DFREML (Cuadro 3) utilizándose el mismo criterio de convergencia que en el cálculo de componentes de varianza.

<b>Cuadro 3</b>	
<b>Componentes de varianza, considerados como valores iniciales en la predicción de la diferencia esperada en la progenie para peso al destete ajustado a 75 días</b>	
<b>Componente</b>	<b>Varianza</b>
Aditivo directo	1.36
Aditivo materno	0.38
Ambiente permanente	0.77
Covarianza entre los efectos genéticos aditivo directo-aditivo materno	-0.007
Error	5.747
Total	8.25

A partir de las soluciones BLUP se obtuvieron diferencias esperadas en la progenie para efectos genéticos aditivos directos ( $DEP_D$ ) y aditivos maternos ( $DEP_M$ ) dividiendo entre dos los vectores  $u_d$  y  $u_m$ , respectivamente<sup>41</sup>. La exactitud

de las DEP's fue obtenida a partir de la correlación obtenida en el programa entre el VG real y el estimado ( $r_{TI}$ )<sup>26 53</sup>

### 3.6 Tendencias fenotípicas y genéticas de peso al destete ajustado a los 75 días

La tendencia fenotípica de P75D para el periodo de estudio, fue analizada por medio de una regresión múltiple considerando el año de nacimiento y el TCCD, utilizando el siguiente modelo:

$$y_{ij} = \alpha_0 + \sum_{i=1}^4 \beta_i Z_i + \beta_5 X_j + e_{ij} ,$$

Donde

- $y_{ij}$  = Peso al destete ajustado a los 75 días (P75D)
- $\alpha_0$  = Valor esperado de P75D cuando  $X_i$  y  $Z_j$  son cero
- $Z_i$  = Indicador del nivel de TCCD como covariable.
- $\beta_i$  = Coeficiente de regresión parcial asociado con  $Z_i$  (Diferencia entre P75D del nivel TC 1 y CD 1 con los siguientes niveles de TC CD)
- $X_j$  = Efecto del año de estudio como covariable
- $\beta_5$  = Coeficiente de regresión parcial asociado con  $X_j$
- $e_{ij}$  = Efecto aleatorio  $\sim NI(0, \sigma^2)$

El mismo modelo fue utilizado para evaluar la tendencia fenotípica dentro de los tres esquemas de selección utilizados en la unidad de producción, por lo que se dividió en tres periodos: 1985 a 1990, 1991 a 1995 y 1996 a 2000, que corresponden a los diferentes esquemas de selección utilizados.

La tendencia genética para los efectos directo y materno fue determinada por una regresión lineal simple usando el paquete estadístico SAS<sup>51</sup> donde el año de

nacimiento fue la variable independiente y los VG de los corderos nacidos en ese año la variable dependiente. Las tendencias fueron analizadas en tres bloques, debido a los diversos esquemas de selección utilizados en la unidad de producción, los bloques fueron separados en los periodos 1985 a 1990, 1991 a 1995 y 1996 a 2000.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Efectos fijos involucrados en la variabilidad del peso al destete a los 75 días

La media del peso al destete ajustado a los 75 días (P75D) fue de 12.77 kg con un error estándar de 0.05 kg, durante el periodo de estudio que abarcó de 1985 a 2000. En el cuadro 4, se muestran los resultados del análisis de varianza para P75D.

<b>Cuadro 4</b>				
<b>Análisis de varianza para el modelo final utilizado en el cálculo de los valores genéticos para peso al destete ajustado a 75 días</b>				
<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Nivel de significancia (p)</b>
Año-época de nacimiento	27	4842.92	179.36	0.0001
Sexo	1	353.69	353.69	0.0001
Tam. cam.-cor. dest.	4	17883.93	4470.98	0.0001
Número de parto (efecto lineal)	1	2808.73	2808.73	0.0001
Número de parto (efecto Cuadrático)	1	1435.73	1435.73	0.0001
Error	4403	34698.64	7.88	

El año y época de nacimiento se combinaron para formar un solo factor (AEN) ya que se detectó un efecto de interacción entre ellos, lo cual coincide con lo reportado por Djemali *et al*<sup>9</sup> y Liga *et al*<sup>10</sup>. Este factor es resultante de las diversas prácticas de manejo y de las variaciones climáticas en la unidad de producción a través del tiempo. La diferencia encontrada entre AEN ( $p < 0.01$ ) se explica por

factores de manejo, alimentación y variaciones climáticas. La estadística descriptiva para los niveles de la variable AEN se resume en el cuadro 5.

<b>Cuadro 5</b>			
<b>Estadística descriptiva para peso al destete a los 75 días en función de la variable año-época de nacimiento</b>			
<b>Año-Época de nacimiento</b>	<b>n</b>	<b>Media mínima cuadrática*</b>	<b>Error estándar</b>
1987-1	10	12.49 <sup>def</sup>	0.898
1987-2	75	10.91 <sup>gh</sup>	0.348
1988-1	31	10.47 <sup>h</sup>	0.519
1988-2	87	12.68 <sup>de</sup>	0.327
1989-1	31	15.44 <sup>a</sup>	0.519
1989-2	98	14.14 <sup>b</sup>	0.310
1990-1	76	14.18 <sup>b</sup>	0.343
1990-2	83	14.08 <sup>b</sup>	0.329
1991-1	135	12.31 <sup>def</sup>	0.258
1991-2	148	12.86 <sup>cde</sup>	0.257
1992-1	136	13.04 <sup>cd</sup>	0.264
1992-2	262	12.63 <sup>de</sup>	0.202
1993-1	189	12.55 <sup>def</sup>	0.230
1993-2	161	13.70 <sup>bc</sup>	0.246
1994-1	133	12.96 <sup>cde</sup>	0.265
1994-2	263	12.18 <sup>def</sup>	0.202
1995-1	98	13.07 <sup>cd</sup>	0.303
1995-2	233	11.99 <sup>ef</sup>	0.208
1996-1	125	11.97 <sup>ef</sup>	0.269
1996-2	237	11.56 <sup>fg</sup>	0.211
1997-1	107	12.46 <sup>def</sup>	0.292
1997-2	259	12.57 <sup>def</sup>	0.205
1998-1	196	11.55 <sup>fg</sup>	0.229
1998-2	261	12.13 <sup>def</sup>	0.203
1999-1	162	13.06 <sup>cd</sup>	0.245
1999-2	343	12.94 <sup>cde</sup>	0.187
2000-1	193	14.33 <sup>b</sup>	0.230
2000-2	306	14.29 <sup>b</sup>	0.192

\* Distintas literales representan diferencia entre niveles (p < 0.05)

Se encontró diferencia significativa entre sexos ( $p < 0.01$ ) presentando los machos un 5% más de peso que las hembras, lo cual es una diferencia similar a lo señalado por Dickson *et al*<sup>21</sup> entre sexos en ovinos Pelibuey en Yucatán, México. Diversos autores reportan diferencia entre sexos en el peso al destete en ovinos<sup>14, 17, 19</sup>, la cual está explicada por factores como el peso al nacimiento, donde los machos presentan un mayor peso que las hembras y a que los machos pasan más tiempo consumiendo alimento<sup>3, 14, 20</sup>. La estadística descriptiva para la variable sexo se presenta en el cuadro 6.

<b>Cuadro 6</b>			
<b>Estadística descriptiva para peso al destete a los 75 días en función de la variable sexo del cordero.</b>			
<b>Sexo</b>	<b>N</b>	<b>Media mínima cuadrática *</b>	<b>Error estándar</b>
Hembras	2201	12.44 <sup>a</sup>	3.503
Machos	2237	13.08 <sup>b</sup>	3.783

\* Distintas literales representan diferencia entre niveles ( $p < 0.05$ )

El efecto de tamaño de camada–corderos destetados (TCCD) fue considerado como un solo factor debido a la relación existente entre estos dos componentes y la diferencia existente entre corderos provenientes del mismo tamaño de camada pero diferente número de corderos destetados, presentándose la mayor diferencia entre los corderos del nivel dos nacidos–dos destetado y los del nivel dos nacidos–un destetado, la cual fue de 0.75 kg. La estadística descriptiva de esta variable se resume en el cuadro 7.



**Cuadro 7**

**Estadística descriptiva para peso al destete ajustado a los 75 días en función de la variable tamaño de camada al nacimiento–corderos destetados (TC-CD)**

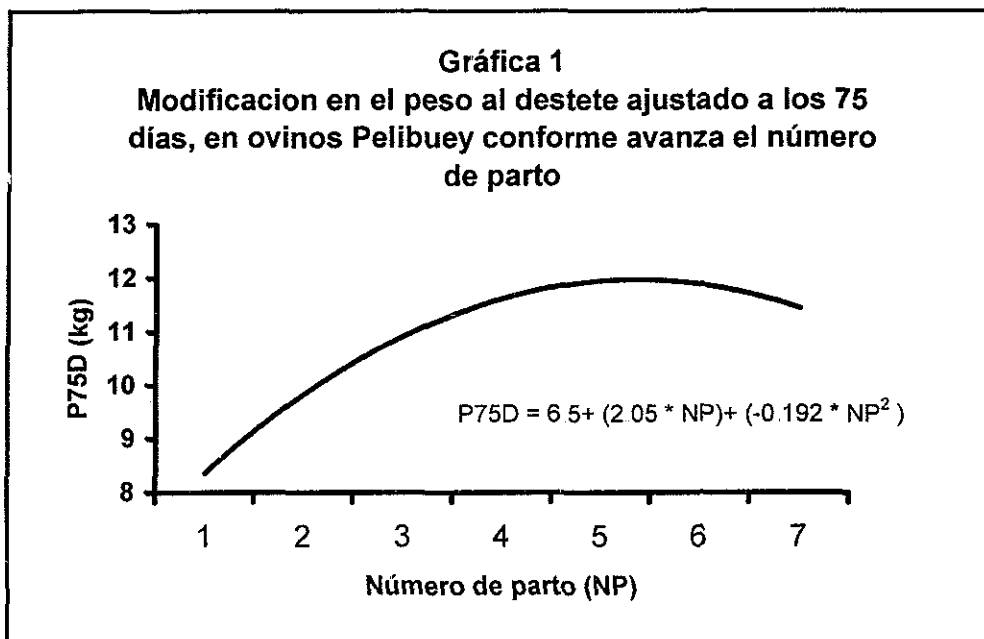
TC – CD	n	Media mínima cuadrática *	Error estándar
1-1	1552	14.96 <sup>a</sup>	0.080
2-1	308	12.35 <sup>b</sup>	0.168
2-2	2181	11.60 <sup>c</sup>	0.078
3-1	30	11.26 <sup>bc</sup>	0.518
3-2	367	10.87 <sup>d</sup>	0.157

\* Distintas literales representan diferencia entre niveles ( $p < 0.05$ )

En la revisión de literatura para esta variable no se encontraron reportes donde se utilice el efecto de TCCD. Sin embargo, autores como Ganai *et al*<sup>11</sup>, Murayi *et al*<sup>16</sup> y Djemali *et al*<sup>9</sup>, reportan diferencias en el peso al destete entre los partos simples y múltiples en otras razas de ovinos, mientras que en los reportes de Buffering *et al*<sup>13</sup> y Ramírez *et al*<sup>1</sup>, describen una mayor mortalidad en los partos múltiples, por lo que se reduce la competencia por el alimento entre los corderos y esto se refleja en el P75D. Este factor presenta una particular relevancia debido a que el tamaño de la camada, tanto al nacimiento como al destete, son características de importancia económica en el Pelibuey.

El número de parto (NP) es un factor importante en la variación del P75D, lo cual coincide con los trabajos de Castro *et al*<sup>5</sup>, Djemali *et al*<sup>9</sup>, Carrillo *et al*<sup>17</sup> y Turner<sup>19</sup>. En el presente estudio el NP fue incluido en el modelo como covariable lineal y cuadrática a diferencia de otros trabajos presentados en la literatura, en virtud del comportamiento del P75D a través de los NP (Gráfica 1) lo cual puede ser explicado por la diferente capacidad láctea de la hembra a través del tiempo. La

inclusión de NP como covariable puede ser considerado en características influenciadas por efectos maternos, como es el caso del peso al destete.



#### 4.2 Componentes de varianza y parámetros genéticos para peso al destete ajustado a los 75 días

Las estimaciones de los componentes de varianza ( $kg^2$ ) fueron: varianza aditiva del efecto directo 1.3311, varianza aditiva del componente materno 0.3377, covarianza entre los efectos aditivos directo y materno  $-0.00675$ , varianza de ambiente permanente 0.7912 y varianza residual 5.7631. A partir de estos componentes se calcularon los valores correspondientes a  $h^2_D$ ,  $h^2_M$ ,  $C^2$  y  $r_G$  entre los efectos aditivos.

La  $h^2_D$  estimada en este trabajo fue de  $0.16 \pm 0.05$ , similar a otros valores de  $h^2_D$  para peso al destete en ovinos de pelo encontrados en la literatura. Ramírez y Vázquez en 1996, calcularon una  $h^2_D$  de 0.18 en ovinos Pelibuey<sup>9</sup> sin que mencionen la edad utilizada para el destete; Carrillo<sup>17</sup> estima  $h^2_D$  de 0.12 en Pelibuey en 1993 en Yucatán, México para peso al destete a los 120 días. En

ambos casos estos valores fueron obtenidos usando un modelo semental. Pliego *et al* mencionan un valor de 0.35 de  $h^2_D$  para peso al destete a los 75 días en ovinos Pelibuey, utilizando un modelo animal sin que incluyera efectos maternos, por lo que los componentes aditivo directo y aditivo materno pudieran estar confundidos<sup>35</sup>. Analla *et al*<sup>33</sup> estimaron  $h^2_D$  de 0.34 para 45 días de edad en la raza Segureña, en donde tampoco fue incluido el efecto ambiental materno, ni el efecto aditivo materno.

La  $h^2_M$  estimada en este estudio fue de  $0.04 \pm 0.03$ , inferior a los valores encontrados en otros estudios. Analla *et al* en 1998 calcularon el valor para  $h^2_M$  de 0.16 en la raza Merino en destetes de 60 días de edad<sup>34</sup>, Ligda *et al*<sup>10</sup> en 2000 menciona 0.19 para el valor de  $h^2_M$ , en este mismo trabajo la  $h^2_M$  es mayor que la calculada para  $h^2_D$  en borregos de la raza Chios. Tosh en 1994<sup>7</sup> presenta valores de  $h^2_M$  para las razas Hampshire, Dorset y Romanov de 0.14, 0.19 y 0.06 respectivamente, siendo este último cercano a lo estimado en el presente trabajo. Buffering (1993)<sup>13</sup> reporta valores que van desde 0.02 a 0.47 en diversos grupos genéticos y con diferentes modelos. El valor de  $h^2_M$  estimado en este estudio es bajo, lo cual tiene dos posibles explicaciones. Por una parte podría existir poca variabilidad genética aditiva en esta característica dentro de la población estudiada, o bien que existen factores ambientales desconocidos, que afectan esta característica y que producen una importante variabilidad en este efecto.

La correlación genética de los efectos aditivos directos y maternos estimada en este estudio fue de -0.01. Analla<sup>34</sup> menciona valores de cero o muy cercanos a cero en ovinos de la raza Merino. Sin embargo varios trabajos realizados en diversas razas, refieren correlaciones negativas con valores que van desde -0.42 a -0.57. La correlación genética entre el peso individual y la habilidad materna para P75D cercana a cero, indica poca o nula asociación entre ambos efectos, por lo que es posible encontrar reproductores con ambos efectos favorables, además de individuos con una de las dos características con valores muy alto y la otras con

valores por debajo de la media, por lo que si interesa mejorar tanto el potencial de crecimiento del cordero como la habilidad materna, se requerirá un mayor número de individuos como reproductores, lo cual hará que la respuesta a la selección sea moderada.

El valor  $C^2$ , que representa la proporción de la varianza fenotípica debido a la varianza en el efecto ambiental materno, se estimó en  $0.09 \pm 0.02$  similar a lo mencionado por Analla<sup>34</sup> en 1998 que encontró valores de 0.03 y 0.06 a edades de 60 y 90 días respectivamente, cercano a lo estimado por María<sup>32</sup> que calcula un valor de cero para este componente de varianza fenotípica. Sin embargo estos valores difieren a lo estimados por Tosh<sup>7</sup> que presentó valores de  $C^2$  entre 0.12 y 0.27, de igual manera difieren a lo calculado por Ligda<sup>10</sup> en 2000 que reporta 0.17. Estas discrepancias pueden ser explicadas por diferencias ambientales y de manejo en los rebaños estudiados por los diversos autores.

#### **4.3 Diferencia esperada en la progenie para peso al destete ajustado a los 75 días**

##### **4.3.1 Diferencia esperada en la progenie para efectos genéticos aditivos directos en el peso al destete ajustado a los 75 días**

El rango de las  $DEP_D$  para todos los animales evaluados en este estudio abarca de 1.209 a  $-0.854$  kg, presentándose el 51.8% de  $DEP_D$  positivas, el 48.1% de  $DEP_D$  negativas y el 0.1% de los individuos presentaron  $DEP_D$  igual a cero. El año 2000 tiene la mayor  $DEP_D$  promedio anual con un valor de 0.194 kg, mientras que 1993 presenta la menor  $DEP_D$  promedio anual con  $-0.106$  kg. La estadística descriptiva de las  $DEP_D$  por año se resume en el cuadro 8.

**Cuadro 8**

Estadística descriptiva de la diferencia esperada en la progenie para efectos directos (kg) en el peso al destete ajustado a los 75 días en función del año de estudio

AÑO*	n	Media mínima cuadrática *	Error estándar
1985	82	-0.005 <sup>de</sup>	0.030
1986	57	0.007 <sup>cde</sup>	0.036
1987	122	-0.009 <sup>de</sup>	0.024
1988	129	0.017 <sup>cd</sup>	0.024
1989	161	0.008 <sup>cde</sup>	0.021
1990	173	0.004 <sup>cde</sup>	0.020
1991	294	-0.047 <sup>efg</sup>	0.015
1992	398	-0.040 <sup>def</sup>	0.013
1993	354	-0.106 <sup>g</sup>	0.014
1994	401	-0.051 <sup>efg</sup>	0.013
1995	336	-0.071 <sup>fg</sup>	0.014
1996	363	0.008 <sup>cde</sup>	0.014
1997	367	0.061 <sup>bc</sup>	0.014
1998	461	0.113 <sup>b</sup>	0.012
1999	505	0.192 <sup>a</sup>	0.012
2000	499	0.194 <sup>a</sup>	0.012

\* Distintas literales representan diferencia entre niveles ( $p < 0.05$ )

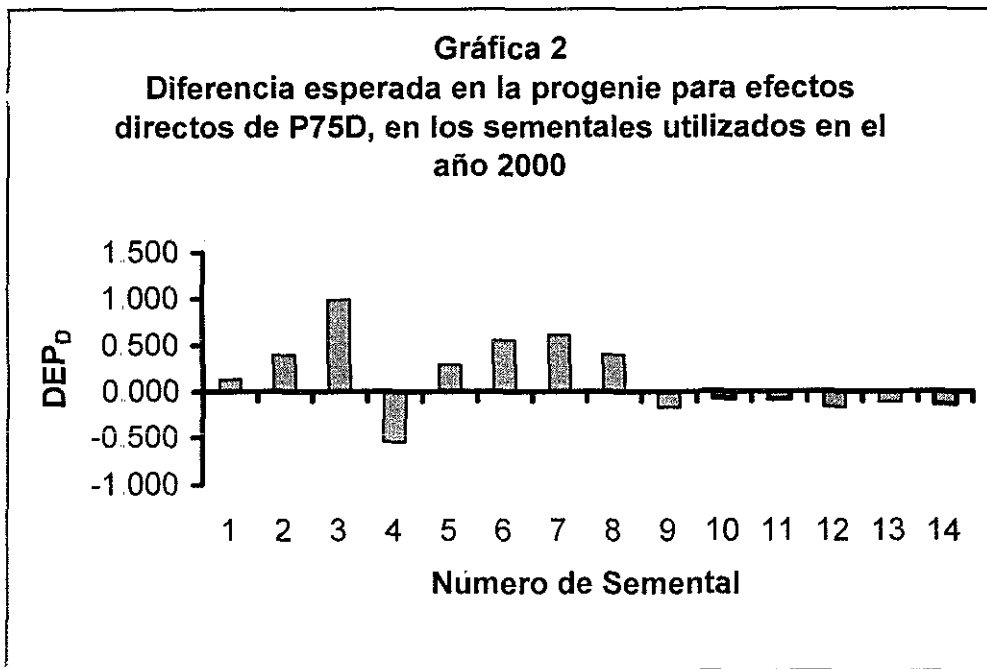
Durante el último año de estudio se utilizaron 234 hembras, el 70% de las cuales presenta DEP<sub>D</sub> positiva. Las hembras utilizadas en el último año han mejorado en general la calidad genética del rebaño, sin embargo existe una porción de ellas que están por debajo de los niveles de años anteriores, lo que refleja la necesidad de optimizar los esquemas de selección para esta característica, lo que debe hacerse considerando los demás indicadores de productividad dentro del rebaño.

El 76% de los corderos nacido en el año 2000 presentó  $DEP_D$  positiva, lo cual indica que para ese año existe un número importante de individuos que pueden ser considerados como reemplazos y así generar un aumento en la media poblacional del P75D. En el caso específico del cordero con mejor  $DEP_D$  (1.209 kg) corresponde a una cordera del grupo tamaño de camada 3–corderos destetados 2, y es hija de del semental con mejor  $DEP_D$  (0.985 kg) en el último año y una de las hembras con mayor  $DEP_D$  (0.878 kg). En el caso del cordero con menor  $DEP_D$  (-0.568 kg) es hijo del semental con peor  $DEP_D$  en el año 2000 (-0.581 kg) y una hembra con un  $DEP_D$  de 0.205 kg, lo anterior refleja la importancia de conocer la calidad genética de los animales antes de incluirlos a un programa reproductivo. La estadística descriptiva de los  $DEP_D$  de sementales, hembras y corderos se presenta en el cuadro 9. No existió diferencia significativa ( $p>0.05$ ) entre dichos grupos.

<b>Cuadro 9</b>						
<b>Estadística descriptiva de la diferencia esperada en la progenie para efectos directos (kg) en el peso al destete ajustado a los 75 días para sementales, hembras y corderos del año 2000</b>						
<b>Grupo</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>mínima</b>	<b>Error</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
		<b>cuadrática</b>		<b>estándar</b>		
Sementales	14	0.149		0.076	-0.551	0.985
Hembras	234	0.179		0.018	-0.730	0.886
Corderos	499	0.194		0.012	-0.568	1.209

Se utilizaron un total de 14 sementales en el año 2000 los cuales tienen un promedio para  $DEP_D$  de 0.171 kg con un mínimo de -0.551 kg y un máximo de 0.985 kg, siete de ellos presentaron  $DEP_D$  negativo y siete positivo. En la gráfica 2 los sementales fueron numerados a partir del macho con mayor tiempo en el rebaño y se observa que los 6 sementales de más reciente integración al rebaño

presentan  $DEP_D$  negativas, de los cuales tres son sementales externos introducidos al rancho (los números 10, 11 y 14) y los tres restantes son reemplazos generados en el rancho (9, 12 y 13) mientras que uno de los sementales de mayor tiempo en la unidad de producción presenta el valor más alto para la  $DEP_D$ , el semental mencionado es un reemplazo producido en el rancho.



P75D=Peso al destete ajustado a los 75 días

Como se observa en la gráfica 2, los últimos tres sementales generados en la unidad de producción presentan  $DEP_D$  negativa, en este caso los tres provienen de partos múltiples y dos de ellos (12 y 13) presentaron un P75D por debajo de la media poblacional. En el caso de los sementales 10, 11 y 14, al momento de la compra sólo se contó con la información del tipo del parto de donde provenían y se consideraron algunas características de conformación.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La productividad de la empresa podría mejorarse al realizar la selección de posibles reproductores a partir de los resultados de una evaluación genética en función de los objetivos económicos de la misma, aprovechando la información de los progenitores y parientes colaterales. En el caso de sementales ingresados de otra población, la evaluación genética permitiría optimizar el manejo de la información y decidir en el menor tiempo posible si permanece el individuo en la población o es desechado, con la consecuencia de evitar la diseminación de material genético que no aporte beneficios al rebaño.

#### **4.3.2 Exactitud de la diferencia esperada en la progenie para efectos genéticos aditivos directos en el peso al destete ajustado a los 75 días**

Las EXAC de las DEP<sub>D</sub> de los individuos involucrados en el estudio presentaron un mínimo de 0.19 y un máximo de 0.96. Las EXAC se distribuyeron de la siguiente forma: 8.27% en el grupo de EXAC baja (de 0 a 0.40) , 62.32% en el grupo de EXAC regular (0.41 a 0.60) 29.04% el grupo de EXAC moderada (0.61 a 0.80) y el 0.37% presentaron EXAC alta (mayor a 0.81). Las EXAC de los corderos nacidos en el año 2000 se localizan entre 0.45 y 0.69, de los cuales el 35% se encuentran en el grupo de EXAC regular (0.41 a 0.60) y el 65% restante presenta EXAC moderada (de 0.61 a 0.80). Los corderos con EXAC moderada corresponden a hijos de sementales y/o hembras con varios años en el rebaño y por lo tanto con varias fuentes de información.

En el caso de las hembras utilizadas en el año 2000, las EXAC de las DEP<sub>D</sub> se ubicaron entre 0.48 y 0.70. El 16.3% de las hembras presentaron EXAC regular y la mayoría de ellas corresponde a hembras de primer parto, hijas de sementales de recién ingreso al rebaño, mientras que el resto de este grupo, son hembras de varios partos, que no contaban con identificación del padre o bien algunos de sus registros fueron eliminados por presentar información dudosa. El 83.7 % de las hembras presentaron una EXAC moderada; en este grupo la mayoría de las



borregas tienen varios partos, por lo tanto poseen varias fuentes de información, cabe resaltar que de las 56 hembras de primer parto, el 85% presentaron EXAC moderada y esto se explica por la información familiar con la que cuentan estas borregas, ya que dentro del mismo rebaño se encuentra una importante cantidad de parientes, entre medios hermanos, hermanos completos, progenitores, abuelos y otros.

De los 14 sementales utilizados en el año 2000, siete presentaron EXAC alta y todos ellos son reemplazos de la misma unidad de producción por lo que cuentan con información de progenie, parientes colaterales, progenitores e información propia. Uno de los sementales externos (el número 12) presenta una EXAC en el límite superior de moderada (0.80) ya que ha sido utilizado con varias hembras desde su introducción al rebaño en 1998, mientras que el semental cuatro es el de mayor EXAC de los sementales producidos en el rebaño.

Es importante considerar que en el caso de borregos no es común el uso de herramientas reproductivas como la inseminación artificial, por lo que la introducción de un semental al rebaño implica realizar una serie de apareamientos para conseguir niveles moderados o altos en la EXAC de su evaluación, mientras que los sementales generados dentro de la unidad de producción cuentan con información propia, de ancestros y parientes colaterales, lo que permite reducir el número de crías necesarias para tener una evaluación confiable.

Cuando se inicia el control de producción para realizar evaluaciones genéticas, la EXAC de los individuos son bajas y aumentan conforme pasan las generaciones, ya que la EXAC depende en gran medida de la cantidad y calidad de la información que aporta la familia de un individuo.

### 4.3.3 Diferencia esperada en la progenie para efectos genéticos aditivos maternos en el peso al destete ajustado a los 75 días

El rango de las  $DEP_M$  para todos los animales evaluados en este estudio abarca de 0.437 kg a -0.380 kg, presentándose el 38.27% de  $DEP_M$  positivas, el 61.60% de  $DEP_M$  negativas y el 0.13% de los individuos presentaron  $DEP_M$  igual a cero. El año 2000 tiene la menor  $DEP_M$  promedio anual con un valor de -0.058 kg, mientras que 1990 presenta la mayor  $DEP_M$  promedio anual con 0.007 kg. La estadística descriptiva de las  $DEP_M$  por año se resume en el cuadro 10.

<b>Cuadro 10</b>			
<b>Estadística descriptiva de la diferencia esperada en la progenie para efectos maternos (kg) en el peso al destete ajustado a los 75 días en función del año de estudio</b>			
<b>Año*</b>	<b>N</b>	<b>Media mínima cuadrática *</b>	<b>Error estándar</b>
1985	82	-0.001 <sup>a</sup>	0.011
1986	57	0.003 <sup>a</sup>	0.013
1987	122	-0.004 <sup>a</sup>	0.009
1988	129	0.006 <sup>a</sup>	0.009
1989	161	0.003 <sup>a</sup>	0.008
1990	173	0.007 <sup>ab</sup>	0.008
1991	294	-0.016 <sup>ab</sup>	0.006
1992	398	-0.016 <sup>ab</sup>	0.005
1993	354	-0.036 <sup>bcd</sup>	0.005
1994	401	-0.052 <sup>cd</sup>	0.005
1995	336	-0.043 <sup>cd</sup>	0.005
1996	363	-0.055 <sup>d</sup>	0.005
1997	367	-0.041 <sup>cd</sup>	0.005
1998	461	-0.030 <sup>bc</sup>	0.004
1999	505	-0.050 <sup>cd</sup>	0.004
2000	499	-0.058 <sup>d</sup>	0.004

\* Distintas literales representan diferencia entre niveles ( $p < 0.05$ )

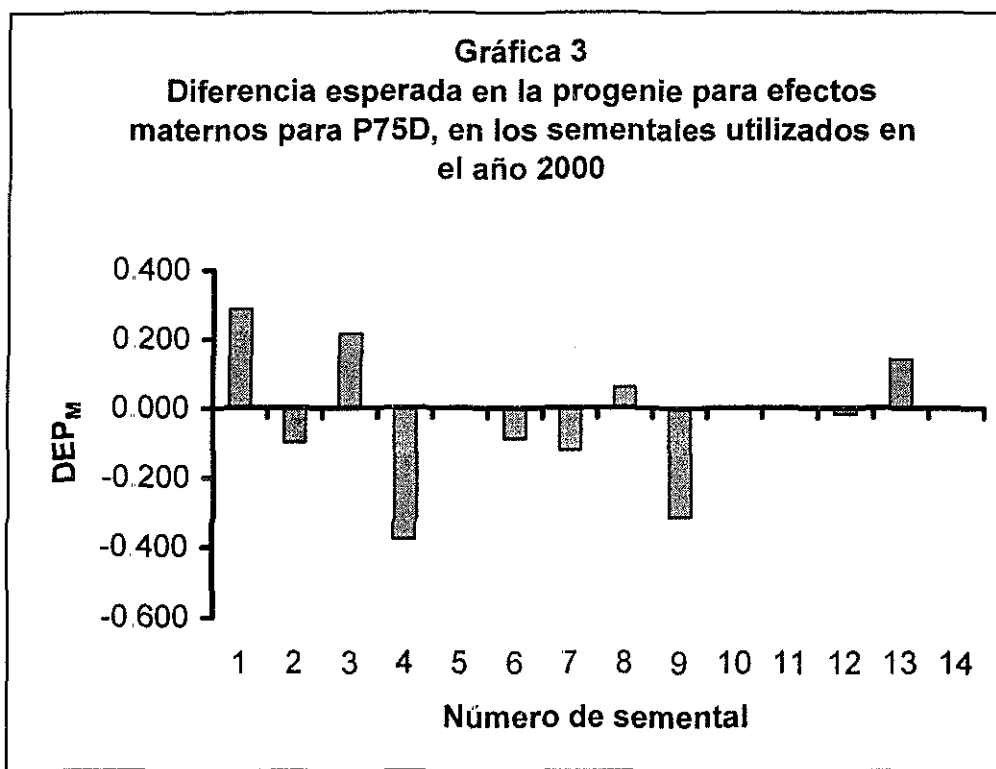
Las  $DEP_M$  de las 234 hembras utilizadas en el último año de estudio se encuentran entre 0.306 kg y -0.319 kg, y el 56% de estas hembras presentan  $DEP_M$  negativa. Se observa que existe una diferencia cercana a los 0.6 kg entre la hembra con el mayor valor positivo y la de valor negativo más alto, lo que implica que existe una variabilidad que debe ser considerada al momento de determinar cuáles hembras generarán corderos para ser reemplazos en el rebaño y cuales hembras producirán corderos para abasto.

El 72.9% de los corderos presentaron  $DEP_M$  negativa, lo que indica que este caracter se ha visto afectado de forma negativa por los esquemas de selección utilizados en la unidad de producción, causando que la ganancia en el P75D se vea disminuida. La estadística descriptiva de los  $DEP_M$  de sementales, hembras y corderos se presenta en el cuadro 11.

<b>Cuadro 11</b>					
<b>Estadística descriptiva de la diferencia esperada en la progenie para efectos maternos (kg) en el peso al destete ajustado a los 75 días para sementales, hembras y corderos del año 2000</b>					
<b>Grupo</b>	<b>N</b>	<b>Media mínima cuadrática *</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Sementales	14	-0.022 <sup>ab</sup>	0.032	-0.380	0.287
Hembras	234	-0.022 <sup>b</sup>	0.007	-0.319	0.306
Corderos	499	-0.058 <sup>a</sup>	0.005	-0.290	0.278

\* = Distintas literales representan diferencia entre niveles (p < 0.05)

Para elaborar la gráfica 3, los sementales fueron numerados a partir del semental con más tiempo en el rebaño; en ella se observa que el semental 4 presenta la peor  $DEP_M$ , hay que mencionar que es el mismo semental con  $DEP_D$  más bajo usado en el año 2000 (gráfica 2).



P75D=Peso al destete ajustado a los 75 días

En el año 2000 se utilizaron un total de 14 sementales, los cuales tienen un promedio para  $DEP_M$  de  $-0.022$  kg con un mínimo de  $-0.380$  kg y un máximo de  $0.287$  kg, seis de ellos presentaron  $DEP_M$  negativo, 4 sementales (5, 10, 11 y 14) presentaron  $DEP_M$  con valores entre  $-0.002$  kg y  $0.001$  kg, mientras que los sementales 1, 3, 8 y 13 presentaron los valores más altos de  $DEP_M$ .

Para la evaluación de machos para efectos maternos se requiere información de hembras que tengan parentesco con el semental y que hayan sido madres, lo cual ocasiona que los sementales que no son reemplazos provenientes del mismo rebaño (10,11 y 14) el valor de  $DEP_M$  haya sido prácticamente de cero.

Los valores para  $DEP_M$  son bajos y serán de poca utilidad en la selección de reproductores para el rebaño, debido a que el valor de heredabilidad para este

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

efecto en la población estudiada es bajo ( $h^2_M = 0.04 \pm 0.03$ ) y su expresión está confundida con prácticas de manejo propias del rancho. Sin embargo, es recomendable la utilización de reemplazos con valores de  $DEP_M$  positivos ya que, aunque el aporte es poco a la siguiente generación, esta ganancia será acumulativa y en el largo plazo se verán resultados favorables.

#### **4.3.4 Exactitud de la inferencia esperada en la progenie para efectos genéticos aditivos maternos en el peso al destete ajustado a los 75 días**

Las EXAC para las  $DEP_M$  de los borregos incluidos en el estudio tuvo un mínimo de 0 y un máximo de 0.88, distribuidos de la siguiente manera: el 5.14% con EXAC baja (menor a 0.40) el 41.2% con EXAC regular (de 0.41 a 0.60) 53.5% de los individuos presentaron EXAC moderada (de 0.61 a 0.80) y el 0.06% presentaron EXAC alta (mayor de 0.80).

La cantidad de fuentes de información para el cálculo de las  $DEP_M$  disminuyen al ser ésta una característica limitada por el sexo, por lo que únicamente es posible medirla directamente en la borrega. Debido a lo anterior sólo animales que tengan entre sus fuentes de información, hembras con progenie podrán alcanzar altos niveles de EXAC, como es el caso de los tres sementales con EXAC mayor a 0.80, los cuales presentaron en su genealogía entre 40 y 90 hijas con progenie y más de 300 nietas.

El 97% de los corderos nacidos en el año 2000 presentaron EXAC baja (inferior a 0.40) y el 3% restante presentaron una EXAC regular (0.41 a 0.60). El porcentaje tan alto de corderos con EXAC baja, es debido a que el cordero carecerá de fuentes de información que aporten efectos importantes al cálculo de la EXAC. El caso de los corderos con EXAC regular son hijos de 7 hembras con EXAC entre 0.41 y 0.60 y de tres sementales con EXAC para este efecto entre 0.53 y 0.77, lo

cual indica que estos corderos cuentan con un mayor número de fuentes de información que el resto de los corderos.

El 80.8% de las madres en el año 2000 presentaron EXAC regular (0.41 a 0.60). En el caso de las hembras es difícil que sean contemporáneas de un gran número de hijas o nietas, por lo que el aumento en la EXAC dependerá de la información proveniente de su padre.

Referente a los sementales utilizados en el último año, tres presentaron EXAC de cero y corresponde a sementales externos que carecen de fuentes de información para este efecto. Para los sementales que son reemplazos provenientes del mismo rebaño, cinco presentaron EXAC menor o igual a 0.40, cuatro tuvieron EXAC entre 0.41 y 0.60, en tanto que los dos restantes presentaron EXAC entre 0.61 y 0.80. Ninguno de los sementales usados en el año 2000 presentaron EXAC mayor a 0.80. Cabe destacar que el semental cuatro tiene la EXAC más alta para este efecto (0.77) y que es el semental con la peor  $DEP_M$

El intervalo generacional hace que se vuelva complejo estructurar un esquema de evaluación dentro del rebaño para obtener una alta EXAC en la evaluación de sementales con respecto a la  $DEP_M$ . Este problema se acentúa en los sementales externos, al carecer completamente de fuentes de información en por lo menos 24 meses a partir de su introducción al rebaño. Además se debe considerar el número de hijas necesarias para esta evaluación, mientras que en el caso de los sementales producidos en el rebaño, contarán con al menos la información de la madre y comenzarán a funcionar como reproductores con valores mayores de EXAC para esta característica. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la  $DEP_M$  es de poca utilidad en la selección de reproductores debido a su bajo índice de herencia y a los factores de manejo en el rebaño, por lo que los valores de EXAC para este efecto tienen una importancia menor.

**4.4 Cambio promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1985 y 2000.**

La tendencia fenotípica calculada para el periodo de estudio fue de 0.159 kg/año. Este aumento en el P75D es resultado de mejoras en el manejo general, así como de los esquemas de selección utilizados en la unidad de producción. Las diferencias observadas para los niveles de TCCD fueron significativas ( $p < 0.001$ ) y los coeficientes fueron negativos en todos los casos, tanto para la tendencia general como para los periodos en los que fue dividido el estudio, lo que indica la importancia de la relación existente entre estas dos variables.

Los efectos genéticos aditivos directos ( $VG_D$ ) y maternos ( $VG_M$ ) presentaron cambios en sentido contrario durante el periodo (1985 – 2000) de tal forma que, mientras el valor genético para efectos directos ( $VG_D$ ) aumenta 0.0443 kg/año, lo cual representa el 27% del cambio en el P75D, el valor genético para efectos maternos ( $VG_M$ ) presenta una tendencia negativa de -0.0087 kg/año, lo que implica una disminución del 5% en el cambio del P75D. Estos cambios en sentidos opuestos, pueden tener explicación en la correlación genética entre ambos efectos ( $r_G = -0.01$ ). Los resultados de las tendencias para P75D,  $VG_D$ ,  $VG_M$ , se presentan en el cuadro 12.

<b>Cuadro 12</b>			
<b>Cambio promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1985 y 2000.</b>			
<b>Componente</b>	<b>Tendencia (kg/año)</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Nivel de significancia</b>
<b>P75D</b>	0.159	0.014	< 0.0001
<b><math>VG_D</math></b>	0.044	0.002	< 0.0001
<b><math>VG_M</math></b>	-0.0087	0.0008	< 0.0001

En la gráfica 4 se observan los cambios presentados en las variables P75D,  $VG_D$  y  $VG_M$  en el transcurso del tiempo, donde se aprecia que el P75D presenta variaciones erráticas a través de los años con un aumento constante en los últimos 3 años del estudio, mientras que el  $VG_D$  presenta un crecimiento constante en el periodo de 1995 a 2000, al mismo tiempo el  $VG_M$  tiene un decremento considerable en el periodo analizado.

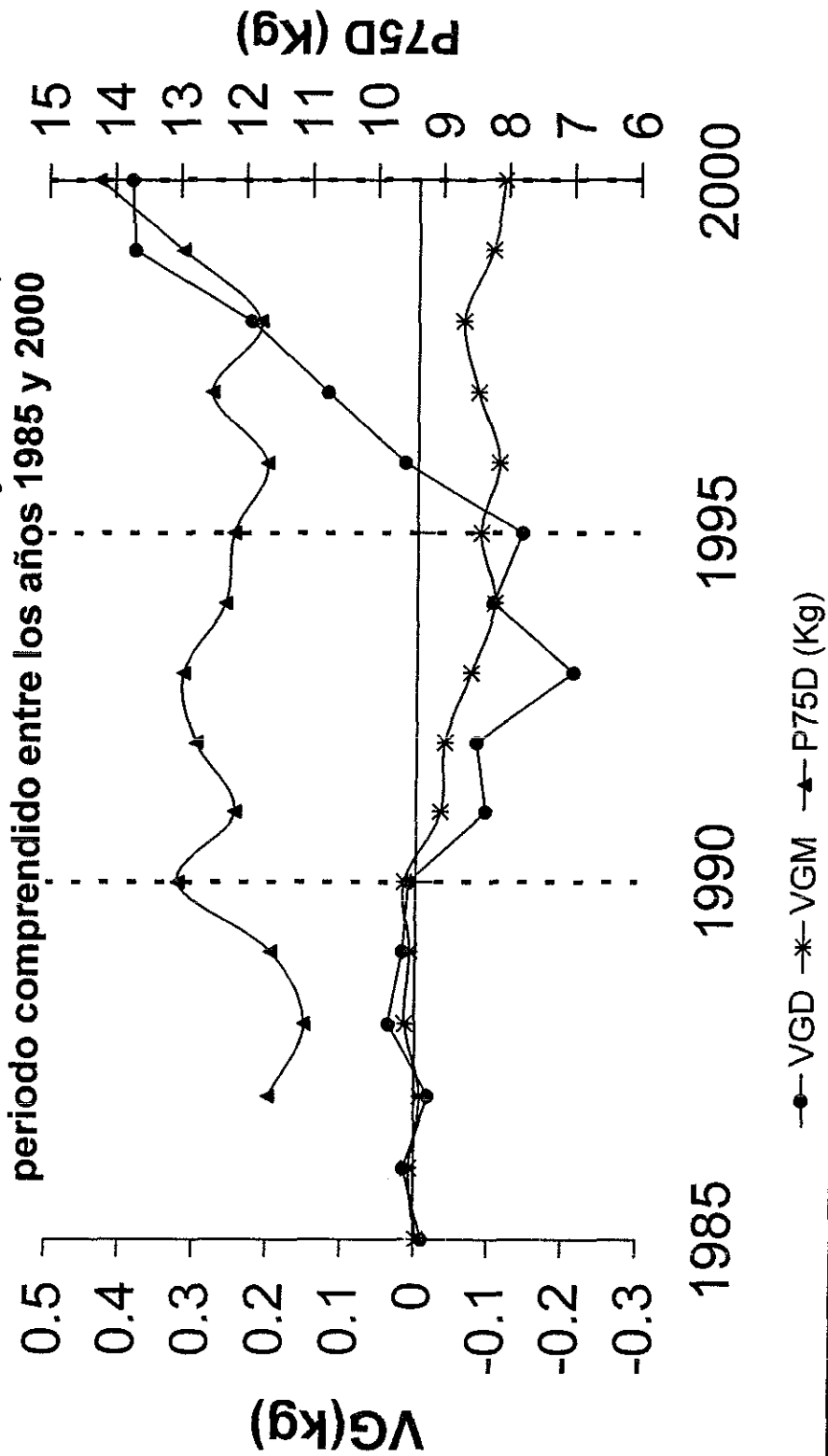
Neser *et al* (1995)<sup>49</sup> mencionan tendencias para  $VG_D$  de 0.087 kg/año y tendencia para  $VG_M$  de 0.016 kg/año en un periodo de 10 años, seleccionando a los animales por registro propio para peso al destete a los 60 días en ovinos de la raza Dorper. En el mismo trabajo los autores<sup>49</sup> presentan tendencias para  $VG_D$  y  $VG_M$  de 0.062 kg/año y 0.007 kg/año respectivamente seleccionando a los reproductores por el estándar racial, estos resultados son superiores a los encontrados para el  $VG_D$  en este trabajo, además de que en ambos casos la tendencia para  $VG_M$  es positiva lo cual difiere con los resultados de este estudio, pese a que la correlación genética entre ambos efectos es negativa y similar a la calculada en este trabajo, lo que implica que es posible mejorar ambas características simultáneamente, aunque la respuesta en la característica de menor  $h^2$  será limitada. Jurado *et al*<sup>43</sup> presentaron una tendencia genética de 0.022 kg/año en ovinos de la raza Merino Español para peso al destete a 30 días de edad, lo que representó el 11% de la tendencia fenotípica en ese estudio, en el cual las hembras fueron pre-seleccionadas por registro propio a los 30 días y al año de edad fueron seleccionadas sobre la base de su conformación.

En el cálculo de los VG del estudio de Jurado *et al*<sup>43</sup> no se consideró el efecto materno. La proporción de los  $VG_D$  con respecto al cambio en el fenotipo es menor a la encontrada en este trabajo, muy probablemente debido a las diferencias entre la metodología utilizada y la edad al destete.



Gráfica 4

Cambio promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1985 y 2000



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

En la unidad de producción analizada en este trabajo, se han presentado a través del tiempo diferentes criterios para la introducción de un animal como reproductor al rebaño, lo que permite conocer la tendencia genética y fenotípica de los diferentes esquemas de selección utilizados.

**4.4.1 Cambio promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1985 y 1990. (Selección por ganancia diaria pre-destete)**

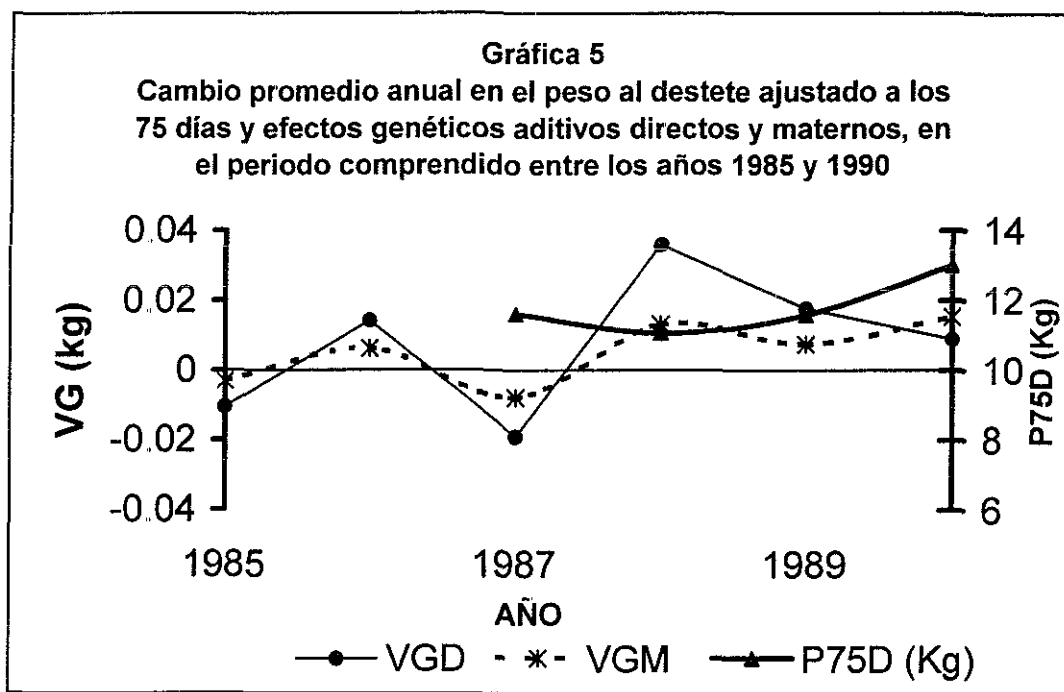
Durante el periodo comprendido entre los años de 1985 y 1990, el principal criterio de selección dentro de la unidad de producción fue la ganancia diaria pre-destete, dejando excluido el tamaño de camada de donde provenía el cordero. En este periodo, el P75D presentó tendencia positiva durante los cuatro años en los que se contó información para esta variable. El aporte en la tendencia para P75D de efectos de  $VG_D$  y  $VG_M$  corresponde a menos del 1% del cambio y no presentan cambio significativo ( $p > 0.05$ ) durante el periodo analizado. Los resultados de las tendencias para P75D,  $VG_D$  y  $VG_M$  se resumen en el cuadro 13.

<b>Cuadro 13</b>			
<b>Cambio promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1985 y 1990</b>			
<b>Variable</b>	<b>Tendencia (kg/año)</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Nivel de significancia</b>
<b>P75D*</b>	1.396	0.141	< 0.0001
<b><math>VG_D</math></b>	0.004	0.011	0.6875
<b><math>VG_M</math></b>	0.003	0.299	0.2709

\* Solo se consideran los registros para los años 1987 a 1990

El esquema de selección utilizado durante ese período consideró principalmente la ganancia diaria de peso pre-destete, con lo cual se seleccionó a los animales de mayor peso, favoreciendo a los borregos que nacieron en parto simple, al ser estos más pesados al nacimiento y no tener competencia por el alimento materno. De igual forma el efecto TCCD es uno de los efectos más importantes involucrados en el P75D, donde la diferencia entre corderos nacidos en parto simple con aquellos nacidos en parto triple es superior a los 4 kg, por lo tanto este esquema de selección disminuye la posibilidad de utilizar como reproductores a aquellos individuos nacidos en parto múltiple con  $VG_D$  positivos.

En la gráfica 5 se observa un comportamiento errático alrededor de cero para los efectos de  $VG_D$  y  $VG_M$ , mientras que en el caso de P75D aumenta de forma constante en los años 1988, 1989 y 1990.



TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

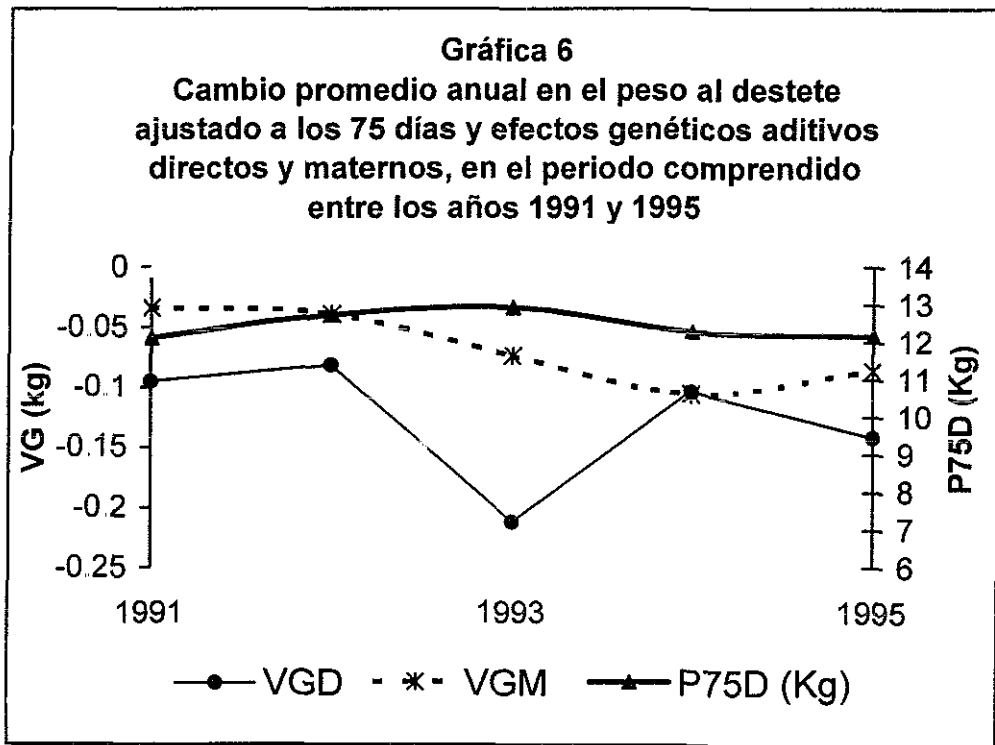
Como no existe mejora genética para P75D en este periodo, el avance obtenido en el fenotipo está explicado fundamentalmente por los efectos fijos involucrados en P75D como son mejoras ambientales y la selección a favor de tamaño de camada simple.

#### **4.4.2 Cambio promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1991 y 1995. (Selección por prolificidad)**

En el periodo de 1991 a 1995 el principal criterio de selección fue la prolificidad, por lo que tanto hembras y sementales seleccionados como reproductores nacieron en partos múltiples, lo que provocó que la tendencia en P75D fuera negativa, debido a que los corderos provenientes de parto múltiple presentan un menor peso al destete. Los promedios anuales de los predictores para  $VG_D$  en este periodo son negativos y no presentaron cambio significativo dentro del mismo, mientras que el  $VG_M$  presentó tendencia negativa, la cual representó el 12% del cambio observado en la tendencia de P75D. Los resultados de las tendencias para este periodo se resumen en el cuadro 14.

<b>Cuadro 14</b>			
<b>Cambio promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1991-1995.</b>			
<b>Variable</b>	<b>Tendencia (kg/año)</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Nivel de significancia</b>
<b>P75D</b>	-0.149	0.054	0.0056
<b><math>VG_D</math></b>	-0.011	0.009	0.2140
<b><math>VG_M</math></b>	-0.018	0.003	<0.0001

En la gráfica 6 se observa que los predictores anuales para  $VG_D$  son negativos (cuadro 8<sup>†</sup>) siendo el año de 1991 el único en este periodo cuya media es estadísticamente diferente de cero ( $p < 0.05$ ) mientras que en ese mismo año el  $VG_M$  cambió de signo con respecto al periodo anterior (cuadro 10<sup>†</sup>) y continuó descendiendo de forma constante. Analla *et al*<sup>33</sup> mencionan una correlación genética de  $-0.6$  entre efectos aditivos maternos en peso al destete y prolificidad en ovinos de raza Segureña, mientras que Ligda *et al*<sup>15</sup> mencionan una correlación genética entre peso al destete y tamaño de camada de  $-0.06$ . La existencia de una correlación genética negativa entre las variables de  $VG_M$  y TCCD podrían ser una explicación para la tendencia genética negativa de  $VG_M$ .



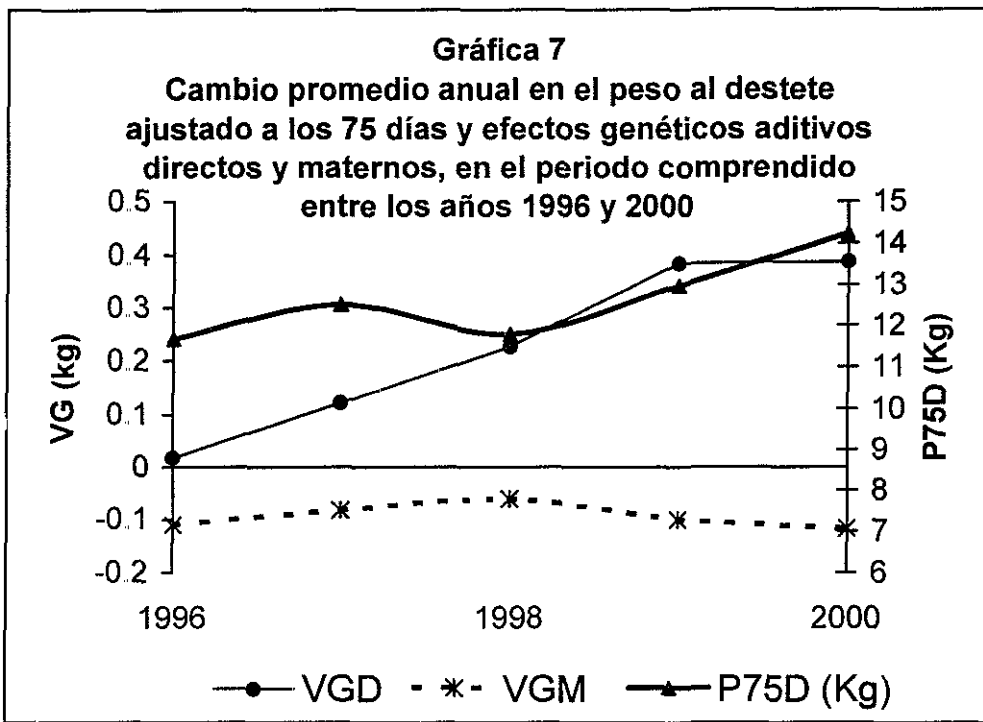
<sup>†</sup> En los cuadros 8 y 10, se resumen los promedios anuales para  $DEP_D$  y  $DEP_M$  respectivamente que es son iguales a la mitad del  $VG_D$  y  $VG_M$ .

**4.4.3 Cambio promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1996 y 2000. (Selección por prolificidad y ganancia diaria pre-destete)**

Entre los años de 1996 a 2000 se consideró el tamaño de camada y la ganancia diaria de peso pre-destete, siendo el tamaño de camada el primer criterio de selección. En este último periodo existen cambios significativos en P75D, los cuales representan cerca de la mitad de los obtenidos durante el primer periodo del estudio y existe un mayor número de partos múltiples, lo cual tiene como consecuencia que con un menor número de hembras, se obtienen más corderos destetados con un mayor peso. La tendencia genética de  $VG_D$  representa el 12% del cambio en el fenotipo, mientras que la tendencia de  $VG_M$  no presenta cambio significativo durante este periodo. Los resultados de las tendencias para P75D,  $VG_D$  y  $VG_M$  se resumen en el cuadro 15.

<b>Cuadro 15</b>			
<b>Cambio promedio anual en el peso al destete ajustado a los 75 días y efectos genéticos aditivos directos y maternos, en el periodo comprendido entre los años 1996-2000.</b>			
<b>Periodo</b>	<b>Tendencia (kg/año)</b>	<b>Error estándar</b>	<b>Nivel de significancia</b>
<b>P75D</b>	0.793	0.048	<0.0001
<b><math>VG_D</math></b>	0.099	0.008	<0.0001
<b><math>VG_M</math></b>	-0.004	0.003	0.2403

En la gráfica 7 se observa que la tendencia de  $VG_D$  aumenta de forma constante durante los primeros cuatro años de este periodo y permanece sin cambio en el último año, mientras que el  $VG_M$  permanece constante y debajo de cero.



Los criterios de selección utilizados durante el último día como resultado, aumentos importantes en  $VG_D$ , pero no en la misma proporción en el  $P75D$ , lo cual es explicado por efecto de la prolificidad. Es importante considerar que aunque los cambios en el  $VG_M$  afectan poco el  $P75D$ , la selección de animales con  $DEP_M$  positivos colaborarán con el aumento del  $P75D$ .

## 5. RECOMENDACIONES AL PRODUCTOR

La respuesta por selección para P75D no representará cambios importantes en la media poblacional de la siguiente generación, en función de los valores de heredabilidad para los efectos involucrados ( $h^2_D \approx 0.16$  y  $h^2_M \approx 0.03$ ) pero hay que considerar que este cambio es acumulativo a través de las generaciones. Al elaborar el esquema de selección, para la unidad de producción se puede considerar como independientes los efectos genéticos aditivos directos y maternos, debido a que la correlación es cercana a cero ( $r_G = -0.01$ ).

Para obtener un incremento sostenible en el P75D dentro del rebaño, se consideran principalmente los valores de  $DEP_D$ , dada la mayor heredabilidad de los efectos genéticos aditivos directos en relación con los maternos. Es importante señalar, que en el caso de la unidad de producción del presente estudio, existe una importante cantidad de fuentes de información para la mayoría de los individuos, por lo que la  $DEP_D$  de un individuo recién destetado, puede tener una EXAC moderada (entre 0.60 y 0.80) por lo que la predicción de la  $DEP_D$  reflejará en buena medida la capacidad genética del individuo. El ingreso y permanencia de los individuos en el rebaño, considerará además de la evaluación de la  $DEP_D$ , criterios reproductivos debido a que el manejo genético en este rubro ha dado buenos resultados.

La correcta selección de **los animales que ingresarán al rebaño** como reproductores, es un factor importante para tener una mejora genética constante en la población. Este proceso presenta la problemática de cómo evaluar a un semental externo para que se pueda decidir, en el menor tiempo posible, la conveniencia de mantenerlo en el rebaño o desecharlo para evitar que disemine material genético en la población. Se recomienda considerar los siguientes puntos para el ingreso de sementales externos al rebaño:



- ✓ Preferentemente deberán de provenir de parto múltiple.
- ✓ Una vez realizados los manejos sanitarios pertinentes, serán apareados con al menos 5 hembras con antecedentes de parto múltiple en el menor tiempo posible, con la finalidad de obtener un mínimo de 7 crías para que la EXAC de su evaluación alcance un valor entre 0.40 y 0.60. En caso de que esta evaluación sea alta y negativa, el semental quedará excluido del programa para la generación de reemplazos y en la medida de lo posible desechado del rebaño.

Los individuos que sean seleccionados al interior del rebaño presentan la ventaja de contar con la evaluación genética dentro de éste, lo que permite contar con valores de  $DEP_D$  con una mayor EXAC. En virtud de lo anterior se recomienda tomar en cuenta los siguientes puntos para la **selección de individuos al interior del rebaño**:

- ✓ Los animales considerados como posibles reemplazos, deberán de haber nacido de hembras con antecedente de parto múltiple.
- ✓ En el caso de individuos, hijos de hembras de primer parto, la abuela debe haber presentado al menos un parto múltiple.
- ✓ Los corderos considerados como posibles sementales, serán seleccionados del 10% superior en la población para  $DEP_D$  y con una EXAC de al menos 0.60. En el caso de corderos con  $DEP_D$  superior a 0.700 kg y con EXAC menor de 0.60 se consideran como sementales externos.
- ✓ Las posibles hembras de reemplazo serán seleccionadas del 25% superior de la población, con una EXAC de al menos 0.60. En caso de hembras con una  $DEP_D$  mayor a 0.500 kg, y EXAC menor a 0.60 se determinará su permanencia con la evaluación al segundo parto.

Una vez seleccionado un animal para ingresar a un programa de mejoramiento genético, es importante la constante evaluación de su desempeño, así como de

sus crías, de tal forma que su permanencia en el rancho se refleje en avances de la calidad del rebaño. Los criterios propuestos para la **permanencia de sementales y borregas** se enlistan a continuación:

Criterios de permanencia para sementales.

- ✓ Mantener un buen porcentaje de fertilidad.
- ✓ El valor de su  $DEP_D$  deberá estar entre el 20% mayor de los machos presentes en la unidad de producción, entre corderos y sementales.

Criterios de permanencia para hembras.

- ✓ Las madres deberán de presentar al menos un parto por año y a partir del tercer parto un promedio de 1.5 corderos nacidos vivos por año.
- ✓ La  $DEP_D$  estará por arriba del 50% de la población, con EXAC superior a 0.60.
- ✓ Las hembras serán reemplazadas como máximo después del décimo parto, excepto que su  $DEP_D$  se encuentre dentro del 20% mayor de los individuos presentes en el rebaño.

Dados los resultados de los efectos genéticos aditivos maternos se recomienda considerar en medida de lo posible a aquellos individuos que presente  $DEP_M$  positiva, para que de esta manera se disminuya o detenga el decremento que se ha presentado en esta característica en los años anteriores a 2000. Se debe considerar que las EXAC para las  $DEP_M$  de los individuos presentes en el rebaño durante este año, fueron en términos generales menores a 0.40, lo que indica que estas  $DEP_M$  pueden no reflejar la verdadera capacidad genética del individuo. Para aumentar las EXAC de las  $DEP_M$  se requiere que los individuos sean hembras con varios partos, que tengan hijas o hermanas reproduciéndose dentro del rebaño, lo que implica tiempo y costos, que es posible no sean redituables para la empresa.

La tercera parte de los sementales con mayor  $DEP_D$  serán asignados a la tercera parte con  $DEP_D$  más alta de las hembras para la producción de vientres y sementales de reemplazo de alta calidad, mientras que las porciones restantes de los animales seleccionados serán utilizados como reproductores dentro del rebaño y sus corderos serán utilizados para venta al público. Un apareamiento será recomendable repetirlo si el promedio de la  $DEP_D$  de la camada es positivo, en caso contrario, será conveniente asignar un macho diferente en el próximo celo de la hembra.

Con el objeto de evitar incrementar la consanguinidad dentro del rebaño habrá que evitar apareamientos que generen 25% o más de consanguinidad como por ejemplo progenitor-cría o entre hermanos completos. En el momento que se detecte la manifestación de genes indeseables dentro de la unidad de producción, se deberá de excluir a los progenitores del programa de generación de reemplazos y realizar las evaluaciones consecuentes para detectar posibles portadores del problema.

Para disminuir la probabilidad de venta de posibles reemplazos que mejoren la producción, se recomienda estimar las  $DEP$ 's cada seis meses. De igual forma es conveniente tener parámetros genéticos y evaluaciones de  $DEP$  para peso al mercado y considerar, además de la información al destete, el comportamiento en corral de engorda. Con la finalidad de complementar las evaluaciones genéticas para variables productivas es recomendable realizar evaluaciones de tipo de forma objetiva para evitar problemas de conformación.

## 6. CONCLUSIONES

- ✓ Entre los efectos que encubren la capacidad genética de un individuo, resalta el efecto de TCCD, debido a que al mismo tiempo que interfiere con la expresión del P75D que es una característica de interés económico, por lo que se recomienda ampliar los estudios de la relación existente entre estos dos parámetros productivos en ovinos de pelo.
- ✓ La  $h^2_D$  (0.16) para P75D indica que existe poca variabilidad aditiva para esta característica en la población, por lo que el cambio en la media fenotípica entre generaciones debido los esquemas de selección será bajo, sin embargo estos cambios son acumulativos, por lo que al mantener un programa de selección constante, los cambios en la media fenotípica serán importantes conforme transcurran las generaciones. En unidades de producción cuyo principal objetivo es la venta de animales para abasto es factible obtener un cambio importante a partir de mejoras ambientales y esquemas de cruzamiento.
- ✓ El P75D es una característica influenciada por la madre, sin embargo, los parámetros relacionados con los efectos maternos ( $C^2$  y  $h^2_M$ ) representaron una proporción pequeña con respecto a la varianza fenotípica. El determinar si existen otros efectos involucrados en la capacidad materna relacionada con el P75D –comportamiento materno, calidad y cantidad de leche– elevaría la exactitud en la elección de reproductores y permitiría optimizar los criterios para la permanencia de las hembras en el rebaño.
- ✓ La evaluación genética al interior del rebaño para características que no sean limitadas a un solo sexo, es una herramienta útil en el mejoramiento

genético de ovinos, debido a que es posible contar con diferentes fuentes de información para un individuo en poco tiempo, lo que permite hacer la selección de forma mas exacta, con las consecuencias económicas que esto conlleva.

- ✓ Es importante encontrar estructuras familiares que permitan obtener, en el menor tiempo posible, una mayor exactitud en las evaluaciones genéticas de ovinos, para evaluaciones entre rebaños, debido a las limitantes existentes para el desarrollo de programas reproductivos en ovinos.

## 7. Literatura Citada

1. Ramírez LG, Medina RJ. Mejoramiento genético del borrego Pelibuey en México (tesis de licenciatura) Chapingo (Estado de México) México: Univ. Autónoma de Chapingo, 1995.
2. Lanestosa ZU. Contribución al estudio del borrego Pelibuey en el estado de Tabasco (tesis de licenciatura) Villa Hermosa (Tabasco) México: Univ. Juárez Autónoma de Tabasco, 1981.
3. Morales MM. Parámetros reproductivos y de explotación del borrego Pelibuey o Tabasco (tesis de licenciatura). Villa Hermosa (Tabasco) México: Univ. Juárez Autónoma de Tabasco, 1986.
4. Ramírez D, Vásquez MG. Estimación de factores genéticos-ambientales y valores de cría en ovinos Pelibuey (tesis de licenciatura) Chapingo (Estado de México) México: Univ. Autónoma de Chapingo, 1996.
5. Castro GH, Campos MG. Determinación de efectos fijos que afectan el peso al nacimiento, ganancia de peso al destete y peso al destete en ovinos Pelibuey blanco, canelo y pinto. Memorias II Congreso Latinoamericano de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos. XI Congreso Nacional de Ovinocultura; 2001 mayo 22-25, Mérida (Yucatán) México. México DF Asociación Mexicana de Técnicos Especialistas en Ovinos AC, 2001.
6. Campos MG, Sánchez GG, Castro GH, López OR. Avance del estudio de la prolificidad a primer parto en borregas Pelibuey: Efecto de la edad. Memorias de la XXXVII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria; 2001 octubre 9-12; Tuxtla Gutiérrez (Chiapas) México. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 2001: 151.
7. Tosh JJ, Kemp RA. Estimation of variance components for lamb weight in three sheep populations. J Animal Sci 1994; 72: 1184-1190.

8. Valencia ZM, Castillo RH, Berruecos VJ. Reproducción y manejo del borrego Tabasco o Pelibuey. *Técnica Pecuaria en México* 1975; 29: 66-72.
9. Djemali R, Aloulou R, Ben Sassi M. Adjustment factors and genetic and phenotypic parameters for growth traits of Barbarine lambs in Tunisia. *Small Ruminant Research* 1994; 13: 41 – 47.
10. Ligda Ch, Gabriilidis G, Papadopoulos T, Georgoudis A. Investigation of direct and maternal genetic effects on birth and weaning weight of Chios lambs. *Livestock Production Sci* 2000; 67: 75-80.
11. Ganai TA, Pandey RS. Genetic and nongenetic parameters of birth weight and weaning weight in Rambouillet x Gaddi sheep. *Indian Veterinary Medical J* 1991; 15: 207-212.
12. Kumar N, Reheja K. Genetic and phenotypic parameters of growth and reproduction traits in US strain of sheep estimated by multitrait animal model. *Indian J of Animal Sci* 1993; 63: 978-983.
13. Buffering PJ, Kress DD. Direct and maternal effects on birth and weaning weight in sheep. *Small Ruminant Research* 1993; 10: 153-163.
14. Cuaron OC. Factores ambientales que afectan la ganancia pre-destete en ovinos de la raza Tabasco (tesis de licenciatura) México DF (México) México: Univ. Nacional Autónoma de México, 1990.
15. Ligda Ch, Gabriilidis G, Papadopoulos Th, Georgoudis A. Estimation of genetic parameters for production traits of Chios sheep using multitrait animal model. *Livestock Production Sci* 2000; 66: 217 – 221.
16. Murayi T, Wilson RT. Factors affecting weights of african long-fat-tailed sheep on research stations in Rwanda. *International of J Animal Sci* 1992; (7) 131-136.
17. Carrillo L, Segura JC. Environmental and genetic effects on preweaning growth performance of hair sheep in México. *Tropical Animal Health and Production* 1993; 25: 173-178.
18. Campos MG, Sánchez GG, Castro GH. Comparación de la productividad de hembras Pelibuey de las tres variedades de color del ovino Pelibuey.

- Memorias II Congreso latinoamericano de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos. XI Congreso Nacional de Ovinocultura; 2001 mayo 22-25, Mérida (Yucatán) México. México DF Asociación Mexicana de Técnicos Especialistas en Ovinos AC, 2001
19. Turner H, Young S. Quantitative genetics in sheep breeding. New York, USA: Cornell University Press, 1966.
  20. Spide L, Rothschild M, Wundor W. Genética aplicada. México DF: UNAM, programa de texto universitario, 1984.
  21. Dickson UL, Torres HG, D'aubeterre R, Becerril PC, Rangel SR, Gonzalez CF. Environmental effects on pre-weaning growth of Pelibuey lambs under a limited grazing system. Memorias II Congreso Latinoamericano de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos. XI Congreso Nacional de Ovinocultura; 2001 mayo 22-25, Mérida (Yucatán) México. México DF Asociación Mexicana de Técnicos Especialistas en Ovinos AC, 2001.
  22. Lukefahr SD. Aplicación de modelo animal en programas de mejoramiento genético de conejos. *Agrociencias* 1992; 2:145-174.
  23. Rosales AJ. Índice de selección en retrospectiva para ganado bovino productor de leche (tesis de maestría) Chapingo (Estado de México) México: Univ. Autónoma de Chapingo, 1989.
  24. Falconer DS. Introducción a la genética cuantitativa. México DF. Editorial Continental SA de CV, 1983.
  25. Campos MG. Comparación de métodos para proyectar lactancias parciales a 305 días en el Complejo Agropecuario Industrial Tizayuca (tesis de licenciatura) México DF (México) México: Univ. Nacional Autónoma de México, 1996
  26. Van Vleck LD. 1993. Selection index and introduction to mixed models. USA. CRC Press Inc., 1993.
  27. Castillo JH. Effect of herd environment on the genetic and phenotypic relationships among milk yield, fertility, and somatic cell score in holsteinn



- cattle. (dissertation doctor of philosophy) Ithaca (NY) USA. Cornell University, 1998.
28. Searle, S.R. Linear Model. USA: Jhon Wiley & Sons, 1971.
  29. Meyer, K. Estimation of genetic parameters. In Hilland WG, Mackay TFC, editors. Evolution and animal breeding. Wallingford: CAB International 1991:161-167
  30. Meyer, K. Estimating variances and covariances for multivariate animal models by restricted maximum likelihood. Genet. Sel. Evol. 1991, 27: 23-67
  31. Schoeman SJ, Els JF, van Nierkerk MM. Variance components of early growth traits in the Boer goat. Small Ruminant Research 1997; 26: 15–20.
  32. Maria GA, Boldman KG, Van Vleck LD. Estimates of variance due to direct and maternal effects for growth traits of Romanov sheep. J. Animal Sci 1993; 71: 845-849.
  33. Analla M, Muñoz-Serrano A, Serradilla JM. Analysis of the genetic relationship between litter size and weight traits in Segureña sheep. Canadian J of Animal Sci 1997; 77:17-21.
  34. Analla M, Serradilla JM. Estimation of correlation between ewe litter size and maternal effects on lamb weights in merino sheep. Genet Sel Evol 1998; 30 : 493–501.
  35. Pliego CB, Campos MG, Castro GH. Estimación de índice de herencia para peso al nacimiento, ganancia diaria de peso y peso al destete, en ovinos Pelibuey. Memorias II Congreso Latinoamericano de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos. XI Congreso Nacional de Ovinocultura; 2001 mayo 22-25, Mérida (Yucatán) México. México DF Asociación Mexicana de Técnicos Especialistas en Ovinos AC, 2001.
  36. Villegas GC. Evaluación genética del *gallus gallus* en su comportamiento etológico utilizando programas de simulación estadística por computadora (modelo animal) (tesis de licenciatura) México DF (México) México: Univ. Nacional Autónoma de México, 1994.

37. Searle RS. Linear models for unbalanced data. USA: Jhon Wiley & Sons, 1987.
38. National Sheep Improvement Program. USA (2001) <http://www.nsip.org>
39. Montaldo HH. Genotype by environment interactions by livestock breeding programs: A review. *Interciencia* 2001; 26: 229–235.
40. Bourdon, R. Questions and answers about national cattle evaluation. Colorado State University (2001) . <http://www.redangus1.org/epdqanda.htm>.
41. Posadas E, Gasque G, Ochoa GP. Interpretación de catálogos de sementales, análisis, evaluación y uso práctico. Memorias México DF, Abril; Colegio de Médicos Veterinarios Zootecnistas del Distrito Federal, 1997.
42. Kennedy, D. Selecting the right ram with EPDs (2001) <http://omafra.gov.on.ca>.
43. Jurado JJ, Alonso A and Alenda R. Selection response for growth in a Spanish Merino flock. *J. animal Sci* 1994; 72: 1433-1440.
44. Folch J, Alabart JL. Tecnología en reproducción ovina. Memorias II Congreso Latinoamericano de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos. XI Congreso Nacional de Ovinocultura; 2001 mayo 22-25, Mérida (Yucatán) México. México DF Asociación Mexicana de Técnicos Especialistas en Ovinos AC, 2001.
45. Cruz TA, Navarrete SL, Ortiz OJ, Ramón UJ, Aguiar LA, Erosa DS Aguayo, AA. Inseminación cervical e intrauterina en ovejas de pelo. Memorias II Congreso Latinoamericano de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos. XI Congreso Nacional de Ovinocultura; 2001 mayo 22-25, Mérida (Yucatán) México. México DF Asociación Mexicana de Técnicos Especialistas en Ovinos AC, 2001.
46. Avendaño RL. Estimación de la tendencia genética para producción de leche en un hato Holstein en México (tesis de maestría) México DF (México) México: Univ. Nacional Autónoma de México, 1989
47. Shrestha JN, Peters HF, Heaney DP, Van Vleck LD. Genetics trends over 20 years of selection in the three synthetic Arcotts, Suffolk and Finish

- landrace sheep breeds. 1 Early growth traits. Canadian J of Animal Sci 1996; 76: 23-24.
48. Valencia PM. Desarrollo de modelos de evaluación para el análisis de características de conformación, longevidad y producción de leche en ganado Holstein en México (tesis de doctorado) México DF (México) México. Univ. Nacional Autónoma de México, 2001
49. Necer FW, Konstantinov KV, Erasmus GJ. Estimated genetics trends for weaning weight in three Dorper lines with different selection criteria. South African J Animal Sci 1995; 25: 65-69.
50. Gracia E. Modificaciones al sistema de clasificación de Kopen. México DF: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 1988
51. SAS. SAS ® User's Guide. Version 6.12 4<sup>th</sup> ed. Cary (NC): SAS Institute Inc., 1989.
52. Meyer K. (2001) DFREML Manual. Available from: <http://agbu.une.edu.au/~kmeyer/dfreml.html>.
53. Boldman KG, Van Vleck LD, Van Tassell CP, Kachman SD. A manual for use of MTDFREML. USDA 1995.