

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE CIENCIAS AGRICOLAS



**INDICES DE SELECCIÓN PARA LOS COMPONENTES DE LA CURVA
DE LACTANCIA Y PRODUCCION TOTAL DE LECHE, EN CABRAS**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCION ANIMAL**

PRESENTA

JUAN MANUEL GOMEZ VEGA

DIRECTOR DE TESIS

Dr. ALBERTO BARRERAS SERRANO

Ejido Nuevo León, Mexicali, B.C., Noviembre del 2012

Esta tesis fue realizada bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Consejo Particular

Dr. Alberto Barreras Serrano

Director de tesis

Ph. D. Adolfo Pérez Márquez

Sinodal

M.C. J. Salomé Saucedo Quintero

Sinodal

M. C. Francisco Daniel Álvarez Valenzuela

Sinodal

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

A la Universidad Autónoma de Baja California (UABC).

Al Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA).

Al Dr. Alberto Barreras Serrano, director de la tesis, por su paciencia y fe en mi persona para asesorarme en éste trabajo de investigación.

Al Ph.D. Adolfo Pérez Márquez por la revisión al trabajo escrito y sus consejos que ha compartido conmigo.

Al M.C. J. Salomé Saucedo Quintero por su amistad y confianza.

Al Dr. Ernesto Avelar Lozano cuyo apoyo ha sido fundamental, tanto en lo personal, como en lo académico.

Al Dr. Roberto Soto Ortiz, por creer en mí y, darme la oportunidad de terminar de escribir el documento, para presentar mi exámen de grado.

Al M.C. Francisco Daniel Álvarez Valenzuela por su participación como sinodal.

Al Ing. Luis Antonio González Anguiano por su valiosa cooperación en la edición del documento.

DEDICATORIA

A dios.

A mis padres: Alicia Vega Ocegueda y Roberto Gómez Alcalá por todo su apoyo incondicional.

A mis herman@s quienes siempre han sido parte elemental en la culminación de mis proyectos.

A mis sobrin@s quienes son fuente de inspiración para seguir esforzándome siempre un poco más.

A mis ti@s, con quienes aparte de todo llevó una gran amistad.

RESUMEN

Se construyeron siete índices de selección (I) considerando la producción total de leche (Lt_{tot}), el rendimiento máximo (R_{max}) y la persistencia (Pers) en la estimación del valor reproductivo para encontrar el criterio que maximizara su correlación con el valor genético-económico total (H), H es una función lineal de componentes genéticos aditivos para Lt_{tot}, los parámetros de la curva de lactancia, R_{max} y Pers, con igual ponderación económica ($\alpha=1$). La eficiencia del criterio de selección fue evaluada en términos de correlación (r_{HI}), además se estimaron los cambios genéticos esperados por generación de selección para cada característica y la ganancia total en H considerando una intensidad de selección de una desviación estándar arriba de la media. Se analizaron 27,852 registros de producción diario de leche provenientes de sesenta y cinco cabras Nubia, Saanen, Toggenburg, LaMancha y Alpino Francesa, ordeñadas (2x) en la posta caprina del ICA-UABC. Los parámetros de la curva de lactancia fueron estimados utilizando el método Marquardt para regresión no lineal a la función gamma incompleta de Wood, con ellos se estimó $R_{Max} = A(b/c)^b e^{-b}$ y Pers ($Pers = (b+1) \ln c$). Los componentes de varianza y covarianza fenotípica y genética fueron estimados a partir de análisis de medias hermanas paternas utilizando un modelo mixto bajo el supuesto de no relación genética entre los padres. El criterio de selección que combinó información sobre R_{max} y Lt_{tot} fue el más eficiente en estimar H ($r_{HI} = 0.88$), seguido por el que consideró Lt_{tot} y Pers ($r_{HI} = 0.56$), siendo 63.6 % tan eficiente como el primero y similar a aquel que considera Lt_{tot}, R_{max} y Pers ($r_{HI} = 0.54$). Los valores de eficiencia para los índices restantes estuvieron, por lo general, por debajo de 0.5 unidades. El cambio genético en Lt_{tot} cuando se considera

conjuntamente con Rmax dentro de un I son de 94.7 % comparado al alcanzado al considerar únicamente Ltot en la estimación del mérito genético aditivo-económico total en los animales. El índice que consideró además de Ltot, Rmax resultó el de mejor respuesta en H después de una generación de selección ($\Delta_H = 74.27$) con respecto al que solo incluyó dentro de la función lineal fenotípica el componente Ltot ($\Delta_H = 38.49$) sugiriendo la posibilidad de obtener una mejora substancial en los parámetros de la curva hacia la forma deseada.

Palabras clave: índice selección, parámetros genéticos, producción de leche, cabras.

ABSTRACT

Seven selection indexes (I_i) of goats were developed combining total milk yield (L_{tot}), maximum yielding (R_{max}), and persistency ($Pers$) with equal economic values ($a=1$) for all traits studied. The relative efficiency of each selection index was evaluated on the basis of correlation values (r_{HI}). The expected genetic progress in the net genetic merit of the animal, as well as genetic gain for each of different traits included was calculated on a constant selection intensity of one standard deviation unit of index was assumed. A total of 27,852 daily milk yield records were analyzed. Marquardt's method for non-linear regression was applied to estimate the lactation curve coefficients, to obtain the R_{max} ($R_{max} = A (b/c)^b e^{-b}$) and $Pers$ ($Pers = -(b+1) \ln c$) estimators. The genetic and phenotypic variances, and covariances between the analyzed traits were estimated under a paternal half sister scheme analyzed using a mixed linear model under the assumption of non genetic relationship among the bucks. The selection index combining L_{tot} and R_{max} was the most efficient ($I_2 = 0.79 L_{tot} - 127.70 R_{max}$ ($r_{HI} = 0.88$)). When L_{tot} and $Pers$ were included, $I_4 = 0.32 L_{tot} - 62.96 Pers$ ($r_{HI} = 0.56$) was only 63.6% as efficient as I_2 , however similar to I_1 ($I_1 = 0.30 L_{tot} - 6.13 R_{max} - 34.03 Pers$, ($r_{HI}=0.54$)). The expected genetic gains in the merit net (Δ_H) was greater when I_2 was used in the selection ($\Delta_H = 74.27$), while I_6 with L_{tot} only was 38.49. The genetic gain for L_{tot} , was 75.48 kg when it was joint R_{max} into I_2 . The maximum annual response to selection was obtained when I_2 was used, yielding 20.63 kg of milk, which means a yearly genetic progress rate of 5%.

Keywords: selection indexes, breeding values, milk yield, goats.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vii
CONTENIDO.....	viii
INDICE DE CUADROS	xi
INDICE DE FIGURAS	xiii
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	4
2.1. Situación Actual de los Caprinos en México	4
2.2. Mejoramiento Genético	5
2.2.1. Mejoramiento genético para características de producción.....	8
2.3. Selección	9
2.3.1. Criterios de selección	10
2.4. Respuesta a la Selección	10
2.5. Valor Reproductivo	12
2.5.1. Estimación del Valor Reproductivo o Valor de Cría	12
2.6. Teoría General del Índice de Selección.....	13
2.6.1. Eficiencia del Índice de Selección (IS)	16
2.6.2. Limitantes del uso del IS.....	16
2.7. Progreso Genético Esperado.....	17
2.8. Definición de la Curva de Lactancia.....	18
2.8.1. Componentes de la Curva de Lactancia	19
2.8.2. Relación de Componentes de la Curva y Producción Total de Leche ...	21
2.8.3. Factores que Afectan la Forma de la Curva de Lactancia.....	22
2.8.3.1. Influencia No-Genética.....	22
2.8.3.1.1. Edad	23
2.8.3.1.2. Año y Estación de Parto	24

2.8.3.1.3. Fertilidad	25
2.8.3.1.5. Nutrición	26
2.8.3.2. Influencia Genética.....	28
2.8.3.2.1. Grupo Genético	28
2.8.4. Modelando la Forma de la Curva de Lactancia	29
2.8.4.1. Funciones Exponenciales	29
2.8.4.2. Modelo de Wood.....	30
2.8.4.3. Otras Funciones	34
2.8.5. Corrección por Efectos Ambientales o No-Genéticos	35
2.9. Estimación de Parámetros Genéticos.....	37
2.9.1. Índice de Constancia o Repetibilidad	38
2.9.2. Índice de Herencia o Heredabilidad	40
2.9.3. Asociaciones entre características	44
2.9.4. Correlaciones Genéticas.....	44
III. MATERIALES Y METODOS	46
3.1. Origen de los Datos	46
3.2. Descripción del Area de Estudio	46
3.3. Aspectos de Manejo Relevantes en la Explotación	47
3.4. Análisis Estadístico	48
3.4.1. Construcción de la Curva de Lactancia.....	49
3.4.1.1. Método Iterativo No-Lineal.....	50
3.4.2. Análisis Ambiental.....	50
3.4.3. Análisis Genético.....	52
3.4.3.1. Estimación del Índice de Constancia o Repetibilidad (t^2)	52
3.4.3.2. Estimación del Índice de Herencia ó Heredabilidad (h^2)	53
3.4.3.3. Estimación de las correlaciones genéticas (r_g)	53
3.5. Construcción de un Índice de selección.....	54
3.5.1. Supuestos básicos en la construcción del índice:	54
3.5.2. Definición del valor genético agregado o total	54
3.5.3. Generalización del Método de Índice de Selección	56
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	61

4.1. Promedios generales.....	61
4.2. Producción de leche por número de parto	65
4.3. Producción de leche por tipo de parto.....	67
4.4. Estimación de los componentes de la curva de lactancia	68
4.5. Influencia ambiental sobre los componentes de la curva.....	71
4.6. Factores de corrección.....	78
4.7. Estimación de parámetros genéticos.....	79
4.7.1. Índice de constancia	79
4.7.2. Índice de herencia	82
4.7.3. Correlaciones genéticas y fenotípicas.....	85
4.7.4. Persistencia.....	87
4.8. Construcción de índices de selección	91
V. CONCLUSIONES	95
LITERATURA CITADA.....	98

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	página
1	Producción de leche (kg) por lactancia y grupo genético, en cabras.	32
2	Valores de heredabilidad y repetibilidad para componentes de la curva de lactancia en ganado lechero.	42
3	Correlaciones fenotípicas entre los componentes de la curva de lactancia y la producción total de leche.	46
4	Medias por mínimos cuadrados y sus errores estándar para las distintas variables bajo estudio.	64
5	Análisis de varianza para las constantes de la curva de lactancia y tiempo en alcanzar el máximo de producción (b/c). Datos originales.	74
6	Análisis de varianza para persistencia (Pers), producción total de leche (PReal), rendimiento máximo (RMax) y producción ajustada por largo de lactancia (P305d). Datos originales.	75
7	Análisis de varianza para las constantes de la curva de lactancia y tiempo en alcanzar el máximo de producción (b/c), obtenidos al aplicar el procedimiento no-lineal.	76
8	Análisis de varianza para las distintas estimaciones de persistencia (Pers), producción total de leche (PReal), rendimiento máximo (RMax) y producción de leche ajustada por largo de lactancia (P305d), obtenidos al aplicar el procedimiento no-lineal.	77
9	Índice de constancia para los componentes y características de la curva de lactancia. Procedimiento de solución no-lineal	82
10	Estimaciones de heredabilidad (diagonal), su error estándar (abajo del estimador de h^2), correlaciones genéticas (abajo de la diagonal) y fenotípicas (arriba de la diagonal) para los componentes y características de la curva de lactancia. Procedimiento no-lineal.	85
11	Estimaciones de varianzas y covarianzas genotípicas y fenotípicas para los componentes y características de la curva de lactancia en cabras.	91

- 12 Índices de Selección y eficiencia en la estimación del genotipo 93
agregado (r_{HI}).
- 13 Progreso genético-económico para cada característica y total en el 95
valor agregado (Δ_H)

INDICE DE FIGURAS

Figura	Título	página
1	Promedios de producción de leche antes y después del ajuste por efectos ambientales, por el procedimiento de estimación no-lineal.	66
2	. Producción de leche por número de lactancia	67
3	Producción de leche total por tipo de parto	69
4	Curvas de lactancia. Construcción utilizando el procedimiento no-lineal.	71

I. INTRODUCCION

La producción lechera caprina en el país representa un recurso importante para algunos estratos sociales. No obstante que en México se reporta para el 2006 un volumen de leche de cabra de 192,000 ton (INEGI, 2007), el común denominador de este sector es la escasa o nula tecnificación aplicada en el proceso productivo. La producción caprina aunque principalmente se relaciona a las regiones áridas y semiárida del país, caracterizadas por la limitada producción de sus agostaderos se extiende en todo el territorio nacional. La producción de cabras en México muestra un incremento gradual reflejado por un mayor número de cabezas, de tal manera que actualmente México ocupa el primer lugar en inventario entre los países latinoamericanos con 9 millones de vientres (INEGI, 2007). La producción de leche se concentra en los estados centro-norte, contribuyendo con el 62% de la producción nacional de leche. (SAGARPA, 2010).

En la planeación y ejecución de los programas de mejoramiento genético en las poblaciones de cabras lecheras, el incremento en el rendimiento lechero por animal debe ser el objetivo principal por el mayor ingreso económico neto que origina en el sistema de producción.

La correcta aplicación de un programa de selección para alta producción, reeditaría en mayores ingresos por producción, bajos costos de alimentación, y mayor permanencia en el rebaño, ocasionando con ello, mayor producción del lácteo de por vida; sin embargo, no solo el rendimiento de leche total alcanzado es importante en el ejercicio de selección genética para ingreso bruto de leche por lactancia, además debe considerarse la forma de la curva que muestra el rendimiento durante el período de

ordeña, ya que indica el comportamiento real de producción de un rebaño, y con ello el mejor comportamiento del sistema de producción, lo que es benéfico, esto permite pronosticar las producciones totales de leche con ayuda de los registros disponibles de manera temprana, y con ello, tomar las mejores decisiones en cuanto al desecho temprano de animales de baja producción láctea, planificar el manejo de la alimentación, evaluar tempranamente a los animales y en general, lograr una buena organización dentro de la explotación.

Por su forma, la curva de lactancia en la cabra es similar a la de la vaca, en la que el rendimiento inmediatamente después del parto tiende a incrementar hasta alcanzar un máximo entre los 15 a 75 días, para posteriormente declinar gradualmente hasta el secado del animal. Este comportamiento define un rendimiento máximo y una persistencia como las características de mayor importancia fisiológica y con diferencias observables entre animales, lo que justifica su estudio, por ello, su posible inclusión dentro de programas de mejoramiento genético.

Un criterio sencillo en cual basar la selección genética de los animales considerando simultáneamente rendimiento lechero total y los componentes de la curva de lactancia es el método de calificación fenotípica total o índice de selección, tal que la selección sobre el índice maximiza la ganancia por generación.

Considerando lo anterior, los objetivos que se plantean para el desarrollo de este estudio son:

1. Construir índices de selección para la curva de lactancia en cabras que consideren producción total de leche, rendimiento máximo y persistencia.

2. Probar la eficiencia de varios criterios de selección para mejorar la producción de leche en cabras.
3. Estimar el progreso genético esperado por generación de selección para cada índice construido.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Situación Actual de los Caprinos en México

Existen menos de 10 millones de cabras en la República Mexicana (Aréchiga et al., 2008), de ellas, el 64% se concentra en los sistemas de producción característicos de las zonas áridas y semiáridas, el 36% restante en la región templada del país (Cantú et al., 1989). Los sistemas de producción regionales son heterogéneos, con rezagos tecnológicos y de sanidad, con poca ó nula organización e integración. Así, la caprinocultura genera anualmente más de 160 millones de litros de leche (SAGARPA, 2010), más del 70% es producido en los sistemas extensivos de producción de las zonas áridas y semiáridas, aproximadamente el 25% es producida bajo sistemas intensivos. Mellado (1997) destaca el enorme potencial que implica incrementar la producción de leche por cabra y por hectárea en hatos de cabras explotadas bajo condiciones extensivas en México, sin que esto implique ningún riesgo de atentar contra la estabilidad de los agostaderos. Una alternativa para lograrlo consiste en implementar programas serios de mejoramiento genético en base a las condiciones existentes en nuestros sistemas de explotación actuales y a las condiciones que debe reunir la cabra ideal para dichos sistemas de producción, además a la implementación de las tecnologías reproductivas que permitan un mejoramiento genético satisfactorio.

2.2. Mejoramiento Genético

El mejoramiento animal consiste en aprovechar la variación existente entre individuos en la búsqueda de descendientes superiores a sus progenitores, en relación a los aspectos productivos (Warwick y Legates, 1980).

El paso principal para implementar un programa de mejoramiento es la organización. Para ser eficiente el programa debe tener secuencias lógicas y bien definidas, que permitan hacer ajustes en tiempo hábil. El punto máximo es la determinación del objetivo de selección, paralelo con las tendencias actuales de mercado (Lobo, 2005).

Al diseñar un plan de mejoramiento genético es necesario distinguir entre un objetivo de mejoramiento y el criterio de selección, (Mueller J., 1985). El objetivo de selección definido como una combinación de características de importancia económica en el sistema de producción que corresponda, no debe confundirse con el criterio de selección; que son las características usadas en la estimación de los valores genéticos de los animales. Así, se define primero el objetivo de selección, ó las características que permitan mayores beneficios económicos para el sistema. Después se escoge aquéllas que permiten alcanzar el beneficio económico. La eficiencia de estos esquemas son evaluados por su correspondencia con el objetivo de selección. Genéticamente, a mayor correlación entre el criterio y el objetivo de selección mayor será la eficiencia del esquema adoptado. (Lobo, 2005).

El desarrollo de programas de mejoramiento genético en caprinos se ve influenciada por los siguientes hechos:

1) La cabra presenta una alta velocidad en su ritmo reproductivo, la cual se debe principalmente a:

- Alta prolificidad, ó mayor número de cabritos nacidos por hembra, por esto más animales a evaluar.
- Corto período de gestación, 145-155 días e intervalo generacional corto sugiere mayor velocidad en mejoramiento genético.
- Pubertad precoz: Los animales pueden ser evaluados a menor edad y con ello aumentar la velocidad de progreso genético.

2) Alta variación fenotípica y genética, si se analiza la manifestación de alguna característica productiva en un grupo de cabras, como el rendimiento en leche, % en grasa, total de sólidos, paso a una edad determinada, sugiere que los valores que alcanza dentro del mismo grupo son muy diversos y el rango que existe es muy alto. Esto implica que, no obstante dentro de una misma raza, los valores de una característica productiva tienden a presentar alta variación, lo cual hace que el ganado caprino tenga alto potencial genético ya que es de esperarse mayor progreso debido a la aplicación de un programa de mejoramiento genético, similar al obtenible en ganado bovino lechero, debido a que éste ya fue sometido durante muchos años a tales programas, lo que hace que la manifestación de sus características productivas no varien tanto como en la cabra.

3) México se caracteriza por presentar una alta proporción de ganado caprino de tipo criollo, esto es, cabras sin características raciales definidas y lógicamente, parámetros productivos ignorados.

4) Dada la gran variedad climatológica existente en México, es necesario adaptar animales a zonas con características específicas muy diferentes a las de los lugares en que fueron originados.

Para planear un programa de mejoramiento genético se requiere primero, definir la meta por alcanzar. Para ello es necesario considerar cuál es el objetivo al que se quiere dirigir la empresa caprina ya sea carne, leche, pelo ó doble propósito.

Las características de interés desde el punto de vista genético se puede clasificar en dos grandes grupos, las morfológicas y las de producción. Las características morfológicas son aquellas que se refieren básicamente al tipo y conformación del animal, como el color del pelaje, presencia de cuernos. La presentación de estas características se debe a la influencia de pocos genes, su presencia y transmisión siguen las normas de genética mendeliana. Estas características se ven poco influenciadas por el medio ambiente por lo que su presentación se debe casi totalmente a la acción genética.

Las características de producción son todas aquellas que se miden para evaluar, ya sea en forma directa o indirectamente, la capacidad del animal para alcanzar el propósito económico para el cual fue creado: (por ejemplo, rendimiento de leche, porcentaje de grasa). Este tipo de características se dan por el efecto de gran número de genes pleiotrópicos y su presentación está influenciada en gran proporción por el medio ambiente.

A su vez estas características se pueden clasificar en dos grandes grupos de acuerdo a los aspectos de la producción que son evaluados mediante ellas.

a) Características de producción propiamente dichas. Son aquéllas que miden directamente el rendimiento productivo de la cabra, por ejemplo el rendimiento de leche en la lactancia, rendimiento diario de leche, % de grasa, % de sólidos, peso al nacer, peso al destete, ganancia diaria de peso, entre otras.

b) Características reproductivas. Este grupo de características se miden para evaluar en forma indirecta la capacidad productiva de la cabra ya que en la medida en que éstas se optimicen permitirán que se incremente el rendimiento productivo del animal.

Ejemplo de este grupo de características:

- Fertilidad: Número de servicios por concepción
- Prolificidad: Número de nacimientos/Número de hembras
- Estacionalidad: El ganado caprino en su mayoría no es apto para la reproducción durante todo el año. Esta característica es probablemente la más seria limitación reproductiva de esta especie, por lo que es importante considerarla dentro de un programa de mejoramiento genético.

2.2.1. Mejoramiento genético para características de producción

En la medida que una explotación caprina sea más eficiente en la producción de su objetivo, se incrementará la eficiencia económica de la misma. Es por ello que el mejoramiento genético en los aspectos productivos del ganado caprino adquiere cada día mayor importancia, como un recurso necesario para incrementar dicha eficiencia. Para mejorar un hato caprino desde el punto de vista genético se cuenta con dos recursos fundamentales: la selección y el cruzamiento abierto.

2.3. Selección

La selección permite identificar animales genéticamente superiores dentro de la población como futuros padres de la siguiente generación (Cochran, 1951). El mismo destaca que la selección es el proceso de mejoramiento genético mediante el cual ciertos individuos considerados genéticamente superiores, dentro de una población, son seleccionados para dar origen a la siguiente generación. El mejoramiento genético logrado mediante el uso de este recurso no es proceso rápido, ya que requiere de tiempo y de constancia en su realización; sin embargo, los logros obtenibles mediante su utilización son permanentes y acumulativos a lo largo del tiempo.

Para establecer la superioridad genética, es necesario analizar las fuentes de variación que afectan la productividad de un individuo y minimizarlas para efecto de comparación (Mao, 1984). Las fuentes de variación son los factores genéticos y ambientales; un adecuado control de estos últimos permite obtener estimaciones precisas del componente genético de los animales, así a través de selección, incrementar los genes benéficos ó de efectos mayores de las características de mayor importancia económica para modificar la estructura genética de la población (Falconer, 1981).

Existen razas caprinas en la actualidad, que fueron sometidas durante años a la selección y debido a ello alientan ciertos niveles productivos los cuales se mantienen y acumulan proporcional a que este proceso tenga continuidad ó no se realice en detrimento de esas características. Se pueden mencionar a las razas ya consideradas especializadas en la producción de leche como es el caso de la Alpina francesa, Saanen, Toggenburg y Nubia.

2.3.1. Criterios de selección

Los criterios varían de acuerdo al productor y a la región; en general al hablar de leche caprina se considera como objetivo central el incrementar la cantidad y la calidad del producto quesero preservando la morfología funcional de las hembras y la variabilidad genética, considerando en orden de importancia los siguientes criterios:

- Cantidad de leche
- Cantidad de proteína
- Cantidad de grasa
- Proteína gramos/kilo + caseína α_{S1}
- Grasa gramos/kilo
- Rendimiento quesero
- Morfología de la ubre

De los criterios morfológicos, el de mayor relevancia es la forma de la ubre, ya que de esta forma depende la velocidad de ordeño y la susceptibilidad a enfermedades como la mastitis.

2.4. Respuesta a la Selección

El avance genético en un rebaño, se puede estimar matemáticamente mediante una ecuación, que permite evaluar el desempeño del rebaño. La diferencia entre la media de las características seleccionadas en la nueva generación y la media de la generación paterna antes de practicar la selección se conoce como respuesta a ésta y constituye una medida del cambio en el valor genético de la población (Johansson y Rendel, 1972) y se representa por $Re = h^2DS$ donde Re representa la respuesta a la

selección, y h^2DS indica el grado en que el cambio en el valor genético puede ser atribuido a la acción aditiva de los genes.

La respuesta a la selección depende de tres factores que son: i) la precisión de la estimación del valor reproductivo, que representa el grado de asociación entre los valores reproductivos estimados y verdaderos, ii) la intensidad de selección, la cual depende del diferencial de selección expresado en unidades de desviación estándar y iii) la variación genética aditiva del carácter seleccionado, (Schmidt y Van Vleck, 1974); esta relación puede explicarse matemáticamente mediante la ecuación $Re = r_{IH} i \sigma_A$ donde r_{IH} representa la precisión de la estimación del mérito genético a través del valor del índice, i es la intensidad de selección y σ_A representa la variabilidad genética aditiva.

Es más importante y práctico expresar el progreso obtenido por unidad de tiempo comparado con el progreso logrado por generación así el valor de Re debe dividirse entre el intervalo generacional; el intervalo se refiere a la edad promedio de los progenitores cuando sus hijos nacen y son probables candidatos a ser padres de la siguiente generación (Falconer, 1981).

La selección se basa en la información de los valores fenotípicos del mismo animal, o en el promedio de la familia (Falconer, 1981). El valor práctico de un individuo es casi siempre afectado por varias características siendo necesario buscar un método que maximice el progreso genético por generación, considerando todas las características en conjunto; entre los más utilizados: el método tándem, niveles independientes de desecho y el de índice de selección, éste último demuestra mayor eficiencia en maximizarlo (Hazel and Lush, 1942).

2.5. Valor Reproductivo

Se define como el valor genético de un individuo como reproductor, nos indica su capacidad de transmitir buenos genes a la próxima generación. Representa, del valor genotípico, sólo la parte que puede ser transmitida de los padres a su descendencia.

Debido a que este valor no puede medirse directamente, se pueden predecir usando datos de rendimiento (por ejemplo, producción de leche en las hijas de un semental). Esta predicción se conoce como valor de cría estimado. Al efectuar esta estimación debe considerarse que un padre pasa la mitad de sus genes a la progenie. Debido a que el valor de cría ó valor aditivo es la suma de los efectos independientes de todos los genes que afectan la característica, un padre transmite una muestra de la mitad de sus genes (valor de cría a la progênie).La meta de todo criador es lograr el máximo mejoramiento genético en el menor tiempo posible lo cual es más viable si se establece la estimación más precisa del valor reproductivo de los progenitores de las siguientes generaciones. (Van Vleck, et al,1987).

2.5.1. Estimación del Valor Reproductivo o Valor de Cría

El valor reproductivo se define como la porción de la superioridad ó inferioridad fenotípica de un individuo al compararlo con otros animales de la población, debida a la suma de los efectos aditivos de todos los genes favorables en todos los loci que afectan al carácter.

La estimación del valor de cría (EVC) puede ser utilizada para clasificar cabras comparativamente para selección genética. Se pueden obtener EVC considerando una ó características múltiples, utilizando solo la información del individuo ó información

adicional de un grupo de animales emparentados con el individuo a evaluar. Se puede además usar la comparación madre-hija, producciones ajustadas por el promedio de las compañeras de hato, igual que el anterior pero ahora usando una desviación modificada del promedio de las compañeras de hato, además el empleo de técnicas lineales como el índice de selección el uso de ecuaciones de los modelos mixtos (Henderson, 1973).

2.6. Teoría General del Índice de Selección

El índice de selección es un criterio que permite elegir a los individuos a través de una combinación lineal de observaciones que maximice el progreso genético (Akbar et al., 1986). La descripción matemática de la función lineal corresponde al índice, mientras el valor numérico obtenido a través de éste, al criterio de selección (Dickerson, 1959).

El objetivo es el de seleccionar individuos con el más alto valor genético como reproductores, con el más alto valor genético aditivo agregado; sin embargo no es posible observarlo, por lo que la selección debe basarse sobre la combinación lineal de los valores observables ó fenotípicos ponderados cada uno de ellos, debe permitir maximizar la correlación entre el valor del índice y el valor genético agregado del animal.

La teoría del índice fue desarrollada por Smith (1936) basándose en el concepto de función discriminante de Fisher y aplicada en la selección de plantas. Hazel (1943) adoptando los coeficientes de sendero de Wright, análisis de covarianza de Fisher y correlación múltiple de Pearson, desarrolló un índice aplicable en poblaciones de cerdos el cual maximizaba la correlación entre el criterio de selección y el valor

genético-económico de los caracteres incluidos en el. Hazel y Lush (1942) discutiendo la eficiencia de los tres métodos de selección, concluyeron que la selección en base a una calificación total era más eficiente que el método tandem o el de los niveles independientes de desecho al considerar a las características como independientes.

El índice de selección es utilizado para diferentes propósitos (Henderson, 1963); sin embargo su uso se orientó a resolver dos problemas en mejoramiento animal: a) encontrar ponderaciones óptimas de los registros sobre el individuo y sus parientes en la selección para una característica simple, y b) la selección fenotípica sobre características múltiples (Henderson y Quaas, 1976).

La evaluación final de los animales, es calificar a estos en base a un índice, y sobre éste basar la selección. De ahí que la validez dependerá sobre el cuidado en la estimación de los estadísticos utilizados en la generación del índice.

Los principios generales en la obtención de los coeficientes de ponderación, sus propiedades y los distintos casos de aplicación son descritos en detalle por Henderson (1973, 1974), Schaeffer (1979), y Van Vleck (1979). Falconer (1986) indica que la selección se debe aplicar al índice considerandolo como una característica simple para lograr con mayores posibilidades el mejoramiento del valor económico más rápido.

Hazel (1943) definió el genotipo a mejorar por como la combinación lineal de los genotipos o valores reproductivos. Cada uno ponderado por un valor económico y lo definió genotipo agregado o mérito genético-económico, asumiendo únicamente el efecto aditivo de los genes, el cual se expresa matemáticamente de la siguiente manera: $H = a_1G_1 + a_2G_2 + \dots + a_nG_n$, donde las a's representan los valores económicos relativos y las G's a los genotipos para cada una de las características.

Este mismo autor considera que la selección para éste genotipo agregado debe ser indirecta a través de el comportamiento fenotípico de cada característica incluida en un índice de selección debido a efectos no aditivos de los genes que enmascaran los valores de H. El índice debe minimizar los errores de predicción de H además maximizar la correlación entre el índice y el genotipo agregado.

El modelo del índice se representa por una ecuación de regresión múltiple como sigue: $I = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$, donde las β 's se refieren a los coeficientes de regresión múltiple que se utilizarán para maximizar la correlación entre I y H, mientras que las X's representan los valores fenotípicos de cada una de las características incluidas en el índice. El número de características en H e I pueden diferir, sin embargo para alcanzar la máxima respuesta a la selección en el valor económico se deben incluir en H todas las características de importancia económica (Falconer, 1986).

Algunas propiedades de el índice descritas por Van Vleck (1993) y Van Vleck et al. (1987) son, minimizar los errores de predicción, maximizar la correlación entre I y H, conocida como precisión de la estimación, la probabilidad de una clasificación correcta de los individuos; en base a sus valores reproductivos se, maximiza y los valores reproductivos del grupo seleccionado se maximizan logrando que la ganancia genética sea posible en menos tiempo, en comparación con otros procedimientos. Estos autores indican que las primeras dos propiedades no requieren de distribuciones especiales; no obstante las dos últimas necesitan que los registros y los valores reproductivos sigan una distribución normal multivariada.

En si los supuestos básicos para la construcción de un índice de selección: i) las características se distribuyan normalmente, ii) no existe correlación entre efectos

genotípicos y ambientales, iii) los individuos provienen de una muestra aleatoria de la población y un ambiente aleatorio para cada individuo (Henderson, 1963).

Para resolver los coeficientes de regresión β 's es necesario maximizar la correlación entre H e I o minimizar los errores de predicción, al maximizar el logaritmo de la correlación, representado matemáticamente en la siguiente ecuación: $\log(r_{HI}) = \log(\sigma_{HI}) - (1/2) \log(\sigma_H^2) - (1/2) \log(\sigma_I^2)$ al minimizar se genera un sistema de ecuaciones normales que al resolverse da lugar a los valores de los coeficientes de regresión parcial que minimizan los errores de predicción (Van Vleck, 1993).

El conocimiento de las siguientes relaciones matriciales es importante para la derivación del índice de selección utilizando algebra de matrices: $Pb = Ga$. A partir de este sistema de ecuaciones lineales $b = P^{-1}Ga$ donde: P= Matriz de varianzas y covarianzas fenotípicas. b= Vector solución. G= Matriz de varianzas y covarianzas genéticas. a= Vector de valores económicos relativos.

La varianza del índice está dada por: $\hat{\sigma}_I^2 = b'Pb$, la varianza del valor agregado $\hat{\sigma}_H^2 = a'Ga$ y la covarianza entre el valor del índice y el valor agregado $\sigma_{HI} = b'Ga$.

Así, la correlación entre el valor del índice y el valor agregado (r_{HI}) quedaria de la siguiente manera: $r_{HI} = \sigma_{HI} / (\sigma_H) (\sigma_I)$

2.6.1. Eficiencia del Indice de Selección (IS)

La eficiencia relativa de un IS puede ser estimada de la correlación entre H e I, y se obtiene $(r_{HI})^{0.5} = [\sigma_{HI} / (\sigma_H) (\sigma_I)]^{0.5}$ (Lin, 1978).

2.6.2. Limitantes del uso del IS

El índice de selección presenta algunos problemas potenciales asociados con su uso: cambios en los parámetros ya que no solo reduce la varianza genética de las

características del índice y las covarianzas genéticas entre estas características, además cambia las varianzas y covarianzas fenotípicas siendo necesario que el índice sea dinámico; otro de los posibles problemas implica que una estimación incorrecta afecta la confiabilidad del índice, conduciendo esto a sesgos en la ganancia teórica estimada; un tercer problema deriva al asignar el valor económico relativo a cada característica atribuible a valores económicos cambiantes, esto implica que el índice debe ser reconstruido para manejar esos cambios económicos; un último problema al seleccionar para varias características correlacionadas positivamente o dos características sin correlación genética puede aparecer una correlación genética negativa, esto reduciría el progreso genético (Lin, 1978).

2.7. Progreso Genético Esperado

La correlación entre el valor reproductivo y el criterio sobre el cual se basa la selección, provee una medida de la eficiencia relativa del índice. Así, entre más alto sea su valor mejor será el índice como predictor del valor genético-económico (Skjervold y Odegård, 1959; Falconer, 1981; Pirchner, 1983).

Si se conocieran exactamente todos los genes involucrados y el genotipo de cada individuo, la correlación entre el índice y el valor genético-económico podría tomar el valor de uno. Sin embargo, debido a que la información necesaria es compleja, así como lo es el conocimiento del mérito genético aditivo para la característica, es difícil conocerla completamente (Lush, 1961). En el caso de parámetros conocidos, Heidhues (1962) utilizó como una medida de la precisión del índice estimado: la razón del progreso actual al progreso esperado.

Resultados de (Syrstad, 1974; Van Vleck, 1977; Danell y Eriksson, 1981) coinciden al señalar que la ganancia genética realizada para producción de leche en los programas de mejoramiento, muestran una tasa anual del orden de 1 %. En ganado caprino lechero no se reportan valores al respecto; sin embargo Ronningen (1970) y Spordly y Ronningen (1977) ambos citados por Steine (1982), estimaron ganancias de 10 a 18 kg de leche por año, dependiendo de los valores de heredabilidad, tamaño de la población, y número de sementales probados, para inseminación artificial ó por monta natural.

2.8. Definición de la Curva de Lactancia

Wood (1967), Singh y Bath (1978) definen a la curva de lactancia como la secreción continua de leche hasta el secado del animal, y en función: del tiempo, nivel general de producción y persistencia (Whittemore, 1984). Los dos componentes básicos de la curva de lactancia son rendimiento máximo y persistencia (Barreras, 1993). El rendimiento máximo ocurre entre las dos a nueve semanas post parto, y la persistência ó la tasa de disminución gradual a partir del punto máximo de producción es 7 a 14 % mensual (Sauvant y Fehr, 1975). Sikka (1950) encontró que el rendimiento máximo es más importante que la persistencia en determinar la producción total y que junto con la persistencia la explican completamente.

El uso de modelos matemáticos, mecánicos como empíricos, permitió conocer las curvas de lactancia de animales domésticos bajo diferentes sistemas de producción lechera; sin embargo, no todos los modelos matemáticos se adecúan a una curva de lactancia típica, con sus respectivas fases secuenciales de producción ascendente, máxima y descendente. Esto sugiere que un modelo adecuado es aquel que permita

predecir con precisión la producción máxima y el tiempo requerido para que ésta ocurra. Además, los parámetros de un modelo adecuado de la curva de lactancia deben reflejar las influencias de factores genéticos, fisiológicos, productivos, ambientales, y sus interacciones. En ganado caprino, entre las numerosas funciones matemáticas utilizadas para describir la curva de lactancia (Gipson y Grossman, 1990), las que mejor ajuste proporcionan son las funciones de Nelder (Polinomial inversa de 2º grado) y la función de Wood (Gamma incompleta). Las funciones Polinomial inversa y Gamma incompleta presentan un ajuste similar ($R^2 = 0,943$; C.M.E= 0,5361 y 0,5365. (Peña F., et al. 1999).

2.8.1. Componentes de la Curva de Lactancia

La curva de producción de leche tiene una explicación cuantitativa a través de sus dos componentes principales: el rendimiento máximo y la persistencia. El primero se define como el valor máximo reportado por la ordenada mayor de la curva (Sikka, 1950). Miller y Hooven (1969) citan que a mayor rendimiento del lácteo al momento del parto, menor será el tiempo requerido para alcanzar el punto de máxima producción, dependiendo esto del estado corporal al momento del parto, potencial genético del animal, estado de salud y alimentación posterior al parto. Otro componente importante es la persistencia, definida por Sikka (1950), como la constante lineal de la curva exponencial expresada sobre una base porcentual y representa el porcentaje relativo de declinación de la curva. Wood en 1968, la define a partir de la función gamma incompleta como:

$$\text{Pers} = -(b+1) \ln c + \ln \Gamma(b+1)$$

donde b y c son los parámetros de la función y Γ es la función gamma. Además, la relaciona con el rendimiento total esperado $Y_{\text{tot}} = A e^{\frac{\text{Pers}}{\Gamma}}$.

Para Molina y Boschini (1979), la persistencia es el porcentaje en que la producción de leche se sostiene con respecto al pico de producción, mientras que para Bath et al. (1982), es la tasa de descenso del rendimiento después del parto, que se acentúa proporcional al estado de gestación especialmente hacia el último tercio de la preñez (Sikka, 1950; Schmidt y Van Vleck, 1974).

En cabras, Agraz (1984) observó que una vez alcanzado el rendimiento máximo dentro de los dos primeros meses de inicio de la producción, la tasa de disminución gradual ó persistencia varió de 25% hasta el quinto mes y de un 50% hasta el octavo mês, de producción.

La pérdida de la persistencia entre el primero y el segundo mes es común en muchos rebaños fundamentalmente por problemas nutricionales (Pelissier, 1964). Al respecto, Vega (1963) en una revisión, señala que una sobrealimentación no aumenta al máximo la persistencia de secreción de leche; no obstante las condiciones ambientales tales como nutrición, preñez y estación del año de descanso, fueran las que incidían sobre ésta. Además, señala que la persistencia es heredable y que algunos animales sostienen su producción de leche por más tiempo en comparación con otros aún bajo las mismas condiciones de manejo.

En un estudio realizado por Miller (1975), observó que animales de primera lactancia mostraron una persistencia más constante y superior con respecto a cabras de segunda lactancia, mientras que en aquellas de lactancias posteriores la persistencia tendía a ser más lineal después de alcanzar el pico máximo de producción.

Esto sugiere que el estudio de la persistencia en cabras, implica gran importancia económica para el productor por su menor grado de declinación y debido a ello mayor producción total del lácteo (Devendra y Mc Leroy, 1986).

2.8.2. Relación de Componentes de la Curva y Producción Total de Leche

Sikka (1950) encontró que el rendimiento máximo fue mucho más importante que la persistencia para determinar la producción total, y que ambos, el rendimiento máximo y la persistencia casi lo explican completamente. Johansson (1961), señaló que el rendimiento máximo era más fácil de registrar que la persistencia, además de que el primero fue el más importante para determinar la producción total por lactancia, permitiendo explicar más del 95 % de la variabilidad en el rendimiento total de leche por lactancia (Tomaszewski y Cannon, 1993).

Shanks et al. (1981), señalaron que un programa de selección que busca incrementar el rendimiento máximo de leche, podía asociarse con incrementos en los parámetros que definen la función de la curva, sin mostrar cambios en los valores de persistencia. Sin embargo, Agraz (1984) consideró que es de mayor importancia económica el seleccionar cabras con mayor persistencia ya que refleja mayor producción al final de la lactancia. Además destacó que animales con una producción moderada del lácteo y alta persistencia sufrían menor estrés que aquellos con menor persistencia y gran diferencial de producción al pico y hacia el final de la lactancia.

2.8.3. Factores que Afectan la Forma de la Curva de Lactancia

Los factores que afectan la forma de la curva de lactancia pueden ser divididos en aquellos de tipo ambiental y de tipo genético.

Mocquot y Ricordeau (1981) señalaron que a partir del conocimiento preciso de los diversos factores que provocan variación en una característica, es posible la remoción de aquellos de origen no-genéticos y lograr así una evaluación y selección de reproductores con menor sesgo.

Johansson (1961) clasificó a los factores no-genéticos que inciden sobre el rendimiento en leche en aquellos estrictamente ambientales como mes de parto, duración de la lactancia, plano nutricional y manejo, y aquellos de naturaleza fisiológica como edad, número de parto, y tamaño de la camada (Ricordeau, 1979). Sin embargo, Sánchez (1990) menciona que factores tales como edad, época de parto, duración de la lactancia y tipo de parto muestran un determinismo parcialmente genético. Los factores ambientales, alimentación y manejo son quizá los de mayor efecto sobre la producción (Sikka, 1950).

Schmidt (1971) encontró que la producción diaria de leche se vió afectada por factores fisiológicos y ambientales. Define a los primeros como el potencial genético del animal y a los segundos de naturaleza no heredables. Siendo estos últimos los únicos donde se puede ejercer control (Schmidt y Van Vleck, 1974).

2.8.3.1. Influencia No-Genética

Influencias ambientales ó no-genéticas son hipotetizadas a dominar la forma de la curva de lactancia (Ricordeau, 1979; Shanks et al., 1981). En cabras, los efectos ambientales más importantes son edad, año y estación de parto, fertilidad y nutrición.

2.8.3.1.1. Edad

La influencia de la edad sobre la producción y eficiencia reproductiva en un rebaño es ampliamente reconocida (Schmidt y Van Vleck, 1974; Swanson, 1978; Montaldo et al., 1991).

Miller (1975), al estudiar las variaciones en la producción en lactancias sucesivas, encontró que éstas tendían a incrementarse proporcional al número de parto, llegando a su punto máximo hacia la tercera o cuarta lactancia (Iloeje et al., 1980). Johansson (1961) y Johansson y Rendel (1972), encontraron una relación curvilínea entre la condición del animal al parto y el rendimiento de leche en la siguiente lactancia.

Montaldo (1980) observó que por edad y número de parto la producción se incrementa hasta alcanzar un máximo hacia el segundo parto, o entre los 2.5 a 4.2 años de edad (Montaldo et al., 1991). Sin embargo, cuando las cabras presentaban su primer parto al año de edad, éstas alcanzaron su máxima producción entre el tercero y quinto parto. No obstante, Montaldo en 1980 reportó que cabras de tercer parto mostraron rendimientos inferiores en leche comparados con rendimientos de cabras de primer parto, así además, que las cabras primerizas mostraron una duración mayor con respecto a cabras de partos subsecuentes.

Al aumentar la edad del animal los rendimientos máximos también aumentan, mientras que la persistencia tiende a perderse (Barreras, 1985), de tal forma que los animales jóvenes registran un menor rendimiento máximo; sin embargo presentan mayor persistencia en comparación a animales en estado adulto, los cuales registran

rendimientos máximos en leche y menor persistencia en su producción (Danell, 1982; Gipson y Grossman, 1989; Tomaszewski y Cannon, 1993).

2.8.3.1.2. Año y Estación de Parto

Wood (1967) cita además del efecto de la estación de parto sobre la forma de la curva de lactancia, la incidencia de otros factores como edad, fertilidad y enfermedades, señalando de mayor repercusión el efecto por estación de parto.

Los trabajos de Montaldo (1980), Montaldo y colaboradores (1981, 1991), hacen referencia que dentro de raza, la estación y el número de parto, tienen un efecto significativo en ambos sobre la producción total de leche y sobre la duración de la lactancia, alcanzando mayores producciones aquellas cabras con partos más cercanos al inicio del año y hacia el final del año anterior, debido a que tuvieron una lactancia de mayor duración (Alderson y Pollack, 1980; Iloeje et al., 1980).

Wood (1972) señaló la no existencia de variación aparente entre los valores medios de persistencia para animales pariendo en distintos meses, por lo que la forma de la curva construída era substancialmente la misma una vez eliminado el efecto del número de parto.

Estudios señalan la importancia de considerar el efecto del año y estación de parto en forma simultánea sobre la producción de leche (Schaeffer y Burnside 1976; Montaldo et al., 1981), además de la interacción edad por estación de parto (Alderson and Pollak, 1980; Iloeje et al., 1980; Montaldo et al., 1991), por lo que se sugiere la necesidad de corregirlos a la vez.

En general, cabras que presentan su parto durante los primeros tres meses del año tienden a producir una mayor cantidad de leche en comparación a aquellas

pariendo durante el segundo trimestre, ya que estas últimas están próximas a presentar el ciclo estral, ó, a desencadenar actividad ovárica (Iloeje et al., 1980; Arbiza, 1986; Valdez et al., 1988).

Gipson y Grossman (1990) reportan efectos importantes de la estación en que se presenta el parto sobre los valores de rendimiento máximo y persistencia. Cabras que presentaban su parto dentro de los primeros meses del año fueron más persistentes comparadas con cabras que parieron en la segunda mitad del año. Dentro de la primera mitad del año, cabras pariendo entre diciembre a febrero fueron más persistentes que aquellas pariendo de marzo a abril (Ronningen, 1967, citado por Gipson y Grossman, 1990).

Montaldo et al. (1991) propusieron factores multiplicativos a efectos combinados de edad, época de parto y grupo racial, por ser más apropiada la forma conjunta que si son considerados en forma individual (Schaeffer y Wilton, 1974).

2.8.3.1.3. Fertilidad

Speicher y Meadows (1967) encontraron una tendencia negativa en eficiencia reproductiva proporcional al incrementar la edad del animal. El intervalo entre partos se considera como una medida de fertilidad siendo utilizada para evaluar el estado reproductivo del rebaño, una definición común y sencilla es el tiempo que transcurre desde el día de nacimiento de un cabrito hasta el día de nacimiento de la próxima cría (Schmidt y Van Vleck, 1974).

El rendimiento de leche durante una lactancia está afectado tanto por la longitud del intervalo entre partos anterior como del estado de gestación. Al respecto, Johansson y Rendel (1972) señalan que bajo un intervalo corto se presentará menor

producción de leche, tanto en la lactancia en proceso como en la siguiente, mientras que con un intervalo largo será en sentido contrario, además de notarse un aumento en la producción diaria y en su vida productiva (Johansson y Rendel, 1972; Schmidt y Van Vleck, 1974; Bath et al., 1982).

Hacia el final de la gestación se produce una caída notable en el rendimiento de leche desconociéndose la causa; sin embargo, se cree que existe un aumento en el nivel de nutrientes básicos para el desarrollo fetal, siendo aprovechable solo entre el uno y dos por ciento de los requerimientos diarios del animal. Una explicación más clara puede ser por el cambio que se presenta ó manifiesta en la producción hormonal, inducida por un mayor paso de estrógenos y progesterona al torrente sanguíneo (Schmidt y Van Vleck, 1974).

2.8.3.1.5. Nutrición

El efecto del sistema de alimentación sobre la lactancia se refleja en la cantidad de leche y en su composición, ya que el estado fisiológico determina principalmente los requerimientos nutricionales. Se estima que una cabra puede producir durante un año el equivalente de tres a cuatro veces su peso vivo en forma de leche y además, las mejores productoras pueden llegar a producir siete veces su peso vivo en base seca (Riquelme, 1982).

Shimada (1983) señala que el alimento debe ofrecerse a los animales en función de la edad y etapa productiva. De hecho, animales de primer lactancia demandan mayor calidad y cantidad de alimento como consecuencia de sus requerimientos para crecimiento y producción.

En general, se considera que con una buena nutrición durante la etapa final de gestación (periodo seco), se ve incrementada la producción de leche en la siguiente lactancia con un mayor consumo diario de alimento siendo manifiesto en las primeras 8 a 10 semanas post-parto (Broster y Swon, 1983).

Teh y Gipson (1992) señalaron que una deficiencia de energía en cabras, implica un retraso en el crecimiento de la cría, demora en la entrada a la pubertad, y reducción tanto en la fertilidad como en la producción de leche.

Al respecto, Whittemore (1984) destacó la importancia del nivel de alimentación y de la condición corporal debido a que el animal llega al parto sobre la secreción de leche a través del efecto sobre el rendimiento máximo, tiempo de presentación del mismo, y persistência.

Agraz (1984) señala que el rendimiento total de leche en la cabra, depende directamente de la persistencia en la producción de leche durante la lactancia, mientras que la persistencia depende a su vez de un sistema de alimentación adecuado en especial durante el período seco y durante la lactancia, además de la condición corporal que presente el animal al parto.

El rendimiento máximo se ve afectado por el número de lactancia (Tomaszewski y Cannon, 1993). Cuando las diferencias en el rendimiento máximo son pequeñas entre números de parto indican una mala condición corporal, mientras que si éstas son grandes sugieren una deficiente nutrición preparto. Así la alimentación y el manejo cotidiano son los de mayor impacto en las diferencias diarias de producción de leche entre animales, ocasionando que bajo una nutrición inadecuada, exista una baja productividad en la cabra lechera (Devendra, 1980; Arbiza, 1986).

2.8.3.2. Influencia Genética

Las características de importancia económica, como la producción de leche, son de naturaleza cuantitativa, y bajo el control de aproximadamente 1024 genes, cada uno de ellos con un efecto pequeño (Geldermann, 1975). La expresión visible, medible ó fenotípica es el resultado de la capacidad genética que posee intrínsecamente el animal, (cantidad y calidad de genes), más la oportunidad ambiental que se le brinde para manifestarla, como alimentación y manejo entre otros (Falconer, 1981).

2.8.3.2.1. Grupo Genético

La gran diversidad de poblaciones en cabras, sugiere identificar grupos bien definidos (Sannen, Toggenburg, Alpina, Nubia, La Mancha, entre otras) para un objetivo de selección. Una descripción en detalle de cada uno de estos grupos fue dada por Shelton (1978), además de otros grupos raciales no conocidos en la región. En ese trabajo, Shelton sugiere producciones de leche de entre 600 a 1200 kg por lactancia, como de nivel económico aceptable.

Geerts (1975) resume el comportamiento de cinco razas, en donde Saanen, Toggenburg, y Alpina fueron similares en la cantidad de leche producida, no así la Nubia y La Mancha, que mostraron los niveles más bajos. En el Cuadro 1 se muestran resultados obtenidos en producción total de leche por lactancia para diferentes grupos genéticos.

Cruz et al. (1985), encontraron que las cabras de grupo genético Alpina x criolla y criolla de primer parto produjeron en promedio 1 kg más de leche que aquellas Nubia x criollo; sin embargo no encontraron diferencias significativas ($p > .05$) entre ellas. Peña (1986) analizando curvas de lactancia entre Alpina, La Mancha, Nubia, Toggenburg,

Granadina y Sannen bajo condiciones de semiestabulación, observó que la forma de la curva era una recta con pendiente negativa, presentando un rendimiento máximo entre los 12 a 18 días post-parto, tanto para cabras de diferentes partos como para aquellas primerizas.

Gipson y Grossman (1990) estudiando los componentes de la curva de lactancia, no encontraron diferencias entre razas tanto para el tiempo en que se presentaba el rendimiento máximo así como para los valores de persistencia. Contrariamente, sí existieron para los valores de producción inicial y rendimiento máximo.

Cabras de grupo genético Saanen alcanzan su rendimiento máximo entre los 15 a los 45 días post-parto, alrededor de 30 días más temprano que aquellas de grupo genético Alpina (Ricordeau, 1963 citado por Gipson y Grossman, 1990).

2.8.4. Modelando la Forma de la Curva de Lactancia

Existen varios modelos matemáticos utilizados en ganado productor de leche para efectos descriptivos, de predicción y para ajustar por efectos ambientales las curvas de producción láctea, reales o acumuladas (Congleton y Everett, 1980). Entre las funciones matemáticas más utilizadas en cabras, se encuentran las familias exponencial, polinomial inversa, segmentada, y la multifásica (Gipson y Grossman, 1990).

2.8.4.1. Funciones Exponenciales

Brody et al. en 1923, citado por Yadav et al. (1977), para explicar el rendimiento de leche (Y) en un tiempo dado (t), empleó la función $Y_t = A e^{-kt}$, sin embargo, este

modelo solo describe la tasa de declinación en la secreción de leche (Singh y Bhat, 1978).

Gaines (1927) propuso el modelo $Y_i = A e^{-bi}$ donde Y_i es el rendimiento diario de leche promedio sobre el i -ésimo mes, A es el rendimiento inicial (cuando $i = 0$) y b la tasa de declinación mensual, sin embargo, no contempla la tasa de incremento inicial al punto máximo, el cuál es de interés e importancia (France y Thornley, 1984).

Sikka (1950) como consecuencia de la discrepancia existente entre el modelo de Gaines y los valores observados, presentó una función exponencial parabólica como forma de ajuste a los datos reales de rendimiento, quedando: $Y_t = A e^{bt} + c^{t^2}$, donde Y_t es la producción en el t -ésimo tiempo de referencia, mientras las constantes A , b y c definen a la curva.

Este modelo proporciona dos constantes por separado: la lineal, midiendo la pendiente promedio de la curva, y la parabólica que describe cuánto sobre el promedio la tasa de la pendiente varía entre períodos.

Es posible que los pioneros que representaron la curva de lactancia por completo fueron Vujicic y Bacic en 1961, citado por France y Thornley (1984), proponiendo la ecuación: $Y_n = A n e^{-bn}$ donde Y_n representa el rendimiento lechero en el n -ésimo período, mientras A y b son los parámetros que la definen; no obstante esta ecuación no ajusta los datos en forma satisfactoria (France y Thornley, 1984).

2.8.4.2. Modelo de Wood

Un gran avance fue dado por Wood (1967), quien genera un modelo algebraico que explica el comportamiento de la curva de producción con un incremento rápido a partir del parto hasta alcanzar un pico máximo de producción a las pocas semanas, y

disminuir gradualmente hasta el momento del secado del animal o cese significativo de su producción, definiendo la curva como del tipo gamma incompleta: $Y_n = A n^b e^{-cn}$, donde Y_n es el rendimiento promedio diario en la n -ésima semana, mientras que A , b y c son los parámetros que la definen, siendo A un factor de escala representando la producción al iniciar la lactancia, b la tasa de incremento hasta alcanzar el punto de máxima producción, c la tasa de disminución gradual a partir del pico máximo de producción, y e la base del logaritmo natural ($A, b, c > 0$). Las unidades de A y c son $\text{kg diarios}^{-(b+1)}$ y días^{-1} , respectivamente.

Cuadro 1. Producción de leche (kg) por lactancia y grupo genético, en cabras.

Grupo genético definido					Autores
Sannen	Alpina	Toggenburg	Nubia	La Mancha	
3430	2194	2613	2009	1482	Shelton, 1978
908	900	777	735	850	Buxade y Falagan, 1996
1095				-	Torres-Vazquez et al., 2009
979	970	921	817	835	Dickinson y King, 1977
962	952	921	805	816	Grossman y Wiggans, 1980
508	462	498	344	-	Montaldo, 1980
513	469	450	339		Montaldo et al., 2010
667-754	668-748	702-731	-	-	Kennedy et al., 1981
970	949	965	774	798	Wiggans et al., 1984
Criollos y provenientes de cruzamientos					Autores
Criolla	Criolla x Nubia	3/4 Nubia	Criolla x Sannen	Criolla x otras razas	
218	234	290	310	-	
-	-	-	-	57 - 151	Montaldo et al., 1980 Valencia y Montaldo, 1991

Y_i es la producción de leche del animal sobre el intervalo n_{i-1} a n_i descritas a continuación:

$$Y_i = A \left[\int_0^{n_i} n^b e^{-cn} dn - \int_0^{n_{i-1}} n^b e^{-cn} dn \right]$$

Además, bajo este modelo se alcanza un punto máximo de producción cuando $n=b/c$, y un valor de rendimiento máximo esperado ($Y_{\max}$) cuando:

$$Y_{\max} = A (b/c)^b e^{-b}.$$

Con las igualdades anteriores, es posible obtener los valores para b y A de la siguiente manera: $b = cn$, mientras que $A = Y_{\max} (c/b)^b e^b$.

Wood (1969) cita que su función del tipo gamma incompleta fue derivada a partir del modelo propuesto por Gaines en 1927 y que además estima el rendimiento total por lactancia (Y), como:

$$Y = \frac{A}{c^{b+1}} \Gamma(b+1) \quad \text{ó} \quad Y = A \sum_n n^b e^{-cn} \quad \dots \quad \text{Wood(1974)}$$

La función gamma incompleta presenta la propiedad de generar curvas de lactancia de numerosas formas, además de ajustar aquellas afectadas por diferentes factores biológicos y ambientales.

Madalena et al. (1979) exponen el modelo $Y = e^{a-cx} x^b$, en él, la bondad de ajuste se efectuó utilizando: un promedio ponderado de cuadrados medios dentro de lactancia, y por el coeficiente de determinación (R^2).

Wood (1969) demostró que la función gamma incompleta brinda un buen ajuste, explicando desde un 73.8 % de la variación en el logaritmo semanal de producción de leche, hasta un 91.2 %.

En promedio, reporta valores conservadores del orden del 82.3 %.

2.8.4.3. Otras Funciones

Rowlands et al. (1982) representaron la forma de la curva de lactancia mediante el modelo: $Y_{(n)} = W_i A n^b e^{-cn}$, similar al desarrollado por Wood (1967), ahora, el componente W_i ($i = 1, 2, \dots, 52$) se refiere al efecto de la i -ésima semana de muestreo en un período de 12 meses. Para propósitos de análisis estadístico el modelo fue expresado en términos logarítmicos de la siguiente manera:

$$\ln Y_{(n)i} = \ln W_i + \ln A + b \ln n - cn + e_{(n)i}$$

donde $e_{(n)i}$ corresponde al error. Los parámetros A , b , y c pueden ser estimados por mínimos cuadrados no lineales, procedimientos de ajuste, máxima verosimilitud ó por regresión lineal sobre la transformación logarítmica a la función original. Sin embargo, Cobby y Le Du (1978) demostraron que a través de este último puede resultar un ajuste pobre, encontrando mejores resultados al aplicar regresión lineal ponderada sobre la transformación logarítmica (France y Thornley, 1984).

Cobby y Le Du (1978) propusieron el modelo: $Y_n = A (1 - e^{-bn})^{-cn}$, mientras Dhanoa (1981) sugiere una reparametrización al modelo de Wood, resultando:

$$Y_n = A n^{bc} e^{-cn},$$

Ahora b representa el tiempo en que se presenta el rendimiento máximo.

Grossman et al. (1986), modificaron la función de Wood al adicionar los términos seno y coseno a la ecuación original tratando de controlar otras variaciones estacionales fuera de aquellas ocasionadas por estación de parto, encontrando que su modelo explicaba en promedio el 92.8 % de la variación en el logaritmo del rendimiento lácteo de cada 10 días, con rangos del 61 al 99 %.

Asumiendo que los errores son aditivos, es más recomendable la utilización de procedimientos no-lineales en la estimación de parámetros, en cambio, si éstos se suponen son multiplicativos, la ecuación es intrínsecamente lineal, por ello se sugiere emplear procedimientos lineales de regresión en la estimación de los parámetros.

2.8.5. Corrección por Efectos Ambientales o No-Genéticos

En todos los programas de mejoramiento genético a través de la selección, es necesario ajustar las características de importancia económica por todas las influencias ambientales significativas antes de estimar los parámetros genéticos y los valores reproductivos de los animales, esto implica, buscar la reducción de la variación ambiental en la característica objeto de selección y por ello los valores de los parámetros genéticos, como heredabilidad, se vea incrementada. Como consecuencia de ello, la estimación del valor reproductivo se hace más precisa, y puede esperarse una mayor respuesta a la selección (Rae, 1982; Kennedy, 1984).

Los efectos ambientales ó no-genéticos que pueden reducir la importancia relativa de la variabilidad genética potencialmente útil son: sexo, tipo de nacimiento, mes o época de parto, año, región, edad, efecto del rebaño y largo o duración de la lactancia. Las diferencias debidas a año son erráticas dependiendo fundamentalmente del clima y de la alimentación. Muchas de las diferencias entre rebaños son atribuidas principalmente a diferencias en la alimentación, tipo de construcciones, y enfermedades, entre otras. Una forma de eliminar el efecto de manejo es expresando el rendimiento lechero como desviación del promedio del rebaño para facilitar la comparación de animales entre diferentes rebaños. Probablemente de 10 al 20 % de

las diferencias en la producción entre rebaños son debidas a causas genéticas (Kennedy, 1984).

Entre los métodos más utilizados en cabras para corregir las diferencias ambientales son la construcción de ajustes multiplicativos y aditivos (Alderson y Pollak, 1980), los cuales consideran una fracción fija de la característica a medir en cada lactancia y expresarla a una edad madura o de máxima producción, igualando las medias y las varianzas. Wiggans et al. (1979), al desarrollar criterios de selección en animales por producción de leche, los efectos ambientales deben ser eliminados en dos estados: a) ajustarse a una duración estándar de 305 días, y b) a una subclase edad-estación de parto (Iloeje et al., 1981; Wiggans, 1981).

Una duración de lactancia de 305 días es el estándar en vacas, y actualmente en cabras (Wiggans, 1984). Sin embargo, muchas cabras no alcanzan a producir los 305 días por una declinación fuerte en la curva al entrar en estro estacional. Por ello una lactancia menor a 305-d pudiera ser más conveniente en la comparación de cabras. Si una lactancia termina antes de alcanzar los 305 días, por una declinación natural y donde la ordeña ya no es redituable, este registro deberá ser considerado completo (Wiggans, 1984). Solo si el animal es vendido o muere antes de terminar la prueba, entonces el registro se considera incompleto, por lo que deberá ser ajustado a un largo de lactancia estándar.

El efecto edad-estación de parto representa del 30 al 40 % de la variación total dentro de un rebaño para producción de leche (Kennedy, 1984).

Otros métodos empleados son: a) las desviaciones a partir del promedio de la subclase correspondiente, el cuál se considera como un método sucio en donde se

supone que todos los animales incluidos en la subclase tienen la misma oportunidad ambiental y de aleatorización (Freeman, 1976); b) la desviación a partir de una media estimable verdadera de la subclase; c) la comparación entre animales contemporáneos dentro de rebaño; sin embargo cuando éste es pequeño y existan pocos registros sobre contemporáneos, puede ser el menos confiable; d) la utilización del procedimiento de los mínimos cuadrados; e) el uso de los métodos II y III de Henderson, entre otros. No obstante, una técnica que permite obtener estimaciones de los efectos fijos, contemplados en la predicción de valores reproductivos de los animales, es el uso de modelos mixtos donde se obtienen simultáneamente los mejores estimadores linealmente insesgados de los efectos fijos (BLUE), además de los mejores predictores linealmente insesgados (BLUP) de los efectos aleatorios, ambos con propiedades deseables (Henderson, 1973). En estas ecuaciones se incluyen los efectos ambientales como de semental, sin necesidad de ajustar previamente por factores no-genéticos.

2.9. Estimación de Parámetros Genéticos

Existen pocos estudios genéticos en cabras (Shelton,1978). Los reportes que establecen el desarrollo e implementación de planes de mejora genética para producción de leche en cabras son escasos, no así en el caso de vacas lecheras, aún cuando la explotación de cabras presenta ventajas por su alta tasa reproductiva y corto período intergeneracional (Kennedy, 1984).

Lush (1945) menciona como ventaja de aplicar estrategias de mejoramiento genético animal, los beneficios permanentes y acumulables en el tiempo, además de alcanzar altos niveles de producción, animales más sanos y con mayor permanencia en la explotación.

No obstante las estimaciones de varianza fenotípica y genotípica no son reportadas frecuentemente, los datos existentes sugieren que las poblaciones de cabras en general son altamente variables y pueden responder a la selección.

La respuesta a la selección ó progreso genético esperado por generación de selección puede ser estimado como el producto de la precisión en la predicción del valor genotípico a través del valor fenotípico, la intensidad de la selección y la variación genética aditiva. Estos tres componentes son fuerzas balanceadas con las cuáles se pueden relacionar casi todas las decisiones de manejo (Freeman, 1976).

2.9.1. Índice de Constancia o Repetibilidad

Es una estimación del grado de igualdad con que se expresa una medida fenotípica cuando hay oportunidad de expresiones repetidas durante la vida del animal (De Alba, 1970). Refleja las diferencias permanentes entre los individuos, como porcentaje de la variación total (Falconer, 1981). La utilidad de este índice radica en la predicción del comportamiento productivo de un animal en etapas avanzadas de su vida (De Alba, 1970).

Los genes que permiten la expresión de una característica en un primer parto, son los mismos que permiten la expresión de una característica en lactancias subsiguientes, así, las diferencias para la característica bajo estudio, entre partos, son atribuibles a un efecto ambiental temporal (Pirchner, 1983).

Kennedy (1984) señala que el comportamiento lechero, satisfactorio ó no en la cabra, tiende a repetirse aunque no completamente, siendo en promedio, del orden del 50 %.

Arbiza, (1986), de diferentes reportes bibliográficos presentó un resumen de estimaciones de repetibilidad para rendimiento total de leche y de rendimientos de los componentes de la leche, largo de lactancia e intervalo interparto en cabras. En promedio, el índice de constancia para producción de leche es del orden del 49.42 %, con variaciones de 18 a 78 %. En el Cuadro 2 se presentan valores de repetibilidad para componentes de la curva de lactancia y rendimiento total de leche obtenidos de distintos reportes.

La repetibilidad es una medida que se puede obtener varias veces en la vida de un animal, la producción de leche es de alta repetibilidad, esto sugiere que bajo condiciones ambientales adecuadas la segunda lactancia es mejor comparada con la primera y así sucesivamente hasta la cuarta lactancia, por lo que si una cabra no es buena productora en su primera lactancia se debe eliminar ya que su producción no aumentará en lactancias subsiguientes.

Representa de igual modo el grado de asociación entre mediciones sobre el mismo animal para características que se pueden medir más de una sola vez, como la producción láctea, suponiendo que el genótipo para la característica es el mismo cada vez que se mide; la definición de repetibilidad es en base a una relación de varianzas que incluye además de los efectos genéticos, la partición de los efectos ambientales en permanentes y temporales; éste parámetro permite predecir el valor de una característica en el futuro basado en sus registros previos (Van Vleck et al., 1987). Se debe utilizar el mayor número de mediciones para aumentar la precisión en la estimación por la reducción de la varianza debida a efectos ambientales temporales (Falconer, 1986).

2.9.2. Índice de Herencia o Heredabilidad

El índice de herencia, o heredabilidad, expresa la proporción de la varianza fenotípica o total atribuible a efectos genéticos aditivos, su valor en porcentaje indica la porción de la superioridad o inferioridad promedio de los padres que va a ser transmitida a su descendencia (Falconer, 1981). Además indica el grado del control genético para una característica (Kennedy, 1984), siendo su función principal expresar la confiabilidad del valor fenotípico como indicador del valor reproductivo (Falconer, 1981), siendo una variable crítica en la ecuación para el progreso genético, indicando la precisión en la selección cuando la selección masal es utilizada como método de selección.

Los estudios genéticos en cabras son limitados, comparados con respecto a las estimaciones de heredabilidad en otras especies; sin embargo, los valores encontrados en bovinos son similares, comparados con estudios involucrando cabras. Algunas de estas estimaciones en cabras, se presentan en el Cuadro 2. (Rae, 1982 y Kennedy, 1984) reportan valores de heredabilidad ($h^2 = .30$) para el rendimiento de leche en cabras, muy similares a estimaciones obtenidos en vacas lecheras (Van Vleck y Bradford, 1965; Butcher y Freeman, 1968 y 1969).

Sin embargo, Auran (1976) y Steine (1976) encontraron valores más altos para cabras que para vacas, al igual que Bouillon y Ricordeau (1976), hasta de un 69 %.

Sikka (1950) reportó, empleando el método de estimación de las medias hermanas paternas, valores de heredabilidad ($h^2 = .103$, $h^2 = .241$ y $h^2 = .236$) para persistencia, rendimiento máximo y total.

Cuadro 2. Valores de heredabilidad y repetibilidad para componentes de la curva de lactancia en ganado lechero.

Heredabilidad			Repetibilidad			Autor
Persistencia	Rendimiento Máximo	Rendimiento Total	Persistencia	Rendimiento Máximo	Rendimiento Total	
		.30				Torres-Vázquez et al., 2010
		.22			.40	Valencia et al., 2007
.29	.29	.37	.49	.65	.70	Sikka, 1950
-	.10 a .15	-	-	.40	.24 a .84	Mahadevan, 1951
.33	-	.26	-	-	-	Smith y Legates, 1962
-	-	.36	-	-	-	Ronningen, 1967
.15	.40	.25	.15	.41	-	Gill, et al., 1971
-	.24	-	-	.50	-	Schmidt y Van Vleck, 1974
.35	.56	.77	0	.54	.55	Madsen, 1975
-	-	.60	-	-	-	Bouillon y Ricordeau, 1976
-	-	.33	-	-	-	Steine, 1976
.10 a .27	-	-	.23 a .30	-	-	Everett, 1977
-	.28	-	-	-	-	Wilcox, 1978
-	-	.16 a .68	-	-	-	Iloeje y Van Vleck, 1978
-	-	-	-	-	.27 a .35	Iloeje et al., 1980
-	-	.48 a .62	-	-	.39 a .55	Iloeje et al., 1981
.33	.22	.26	-	-	-	Shanks et al., 1981
.26	.43	.42	-	-	-	Schneeberger, 1981
.04	.15	.16	-	-	-	Ferris et al, 1985
.40	.30	.25	.60	-	.50	Wilcox, 1992

En general, los valores de heredabilidad reportados en la literatura son moderados; sin embargo permiten alcanzar respuestas razonablemente altas en programas de mejoramiento genético, al seleccionar en favor del rendimiento lechero.

En la estimación de valores de heredabilidad, es importante considerar la influencia que pueden ejercer algunos factores sobre ésta, entre los cuales destacan: Raza bajo estudio, tamaño de la población, métodos de estimación del valor, errores en la estimación, y el medio ambiente. Las variaciones que se presentan en uno o varios de estos factores determinarán las diferencias entre los estimadores de heredabilidad obtenida en diferentes estudios.

Cabe destacar que al considerar el valor de heredabilidad de las características, en la planeación de un programa de mejoramiento genético, aportan información la cual da la pauta para decidir la forma de implementarlo más eficientemente.

Dentro de las características importantes desde el punto de vista productivo, las características productivas son las que presentan mayores valores de heredabilidad. Por el contrario, las características de tipo reproductivo y de viabilidad demuestran ser poco heredables. Consecuentemente la selección será más efectiva cuando se aplica para características de producción.

En sentido amplio, la heredabilidad es la fracción de la varianza fenotípica que se debe a diferencias genéticas entre individuos, en sentido estrecho, es la fracción de la varianza fenotípica que se debe a la variación genética aditiva (Falconer, 1986; Jacquard, 1983). Esta última definición es más apropiada para el mejoramiento genético por medio de selección, la cual se basa en la variación genética aditiva (Bath, et al., 1982) ya que los efectos aditivos tienen mayor oportunidad de ser transmitidos a

la siguiente generación comparados con los efectos de dominancia o epistáticos (Van Vleck, 1993). Falconer (1986) y Van Vleck et al., (1987) mencionan que la heredabilidad es útil en la estimación del valor reproductivo y, en la predicción de la respuesta esperada de acuerdo al método de selección, siendo su función más importante la confiabilidad del valor fenotípico como indicador del valor reproductivo ó grado de correspondencia entre los valores fenotípico y reproductivo.

El conocimiento del valor de éste parámetro es importante para la elección de la técnica de selección a usar para el mejoramiento de una característica y el valor depende de la población bajo estudio (Jacquard, 1983) ya que la heredabilidad no solo es una propiedad del carácter sino de la población y efectos medioambientales y la precisión en la estimación de la heredabilidad por lo regular es poco precisa y con frecuencia presenta un error estándar bastante grande (Falconer, 1986).

El mismo autor indica que la estimación de heredabilidad se basa en el grado de parecido entre parientes considerando precisión y sesgo en la estimación, siendo más precisa la estimación entre más cercano sea el parentesco, aunque el punto más importante es el sesgo en la estimación, provocada ésta por fuentes ambientales de covarianza, siendo los principales métodos para estimar éste parámetro la regresión progenie-progenitor, correlación entre medios hermanos, correlación de hermanos carnales y una estimación combinada.

2.9.3. Asociaciones entre características

Las correlaciones pueden ser fenotípicas, genéticas y ambientales, siendo la correlación definida como el estadístico estandarizado que se utiliza para comparar el grado de asociación entre varias características (Van Vleck, et al, 1987) siendo las correlaciones ambientales, las que permiten medir la relación existente entre el valor genético de un determinado carácter y el valor genético del mismo animal para otro carácter. Este tipo de asociación es derivado del análisis de variancia entre animales emparentados, conteniendo solamente la porción de variancia genética aditiva, que es la porción heredable del potencial genético del animal. Existe, además la porción denominada ambiental, cuyo grado de asociación entre ellas mide la variación existente, producto de la relación entre la totalidad de los elementos genéticos y las variaciones genéticas aditivas. Si la correlación fenotípica fuese menor que la genética, implica una correlación ambiental negativa, mientras que si esta última fuese positiva, solamente puede aparecer si los genes que gobiernan los dos caracteres son similares.

2.9.4. Correlaciones Genéticas

El grado de asociación entre los componentes de la curva de producción y el rendimiento total es muy importante, sobre todo para la planificación del manejo nutricional del rebaño, la organización interna y la búsqueda de evaluaciones más tempranas en los individuos. En el Cuadro 3 se presentan algunos resultados de varios trabajos al respecto.

Para obtener animales con una mayor producción por lactancia, es importante que éstos alcancen un rendimiento máximo lo más temprano posible, y mantenerlo a lo largo de la lactancia (Everett, 1977).

Cuadro 3. Correlaciones fenotípicas entre los componentes de la curva de lactancia y la producción total de leche.

Rendimiento Máximo y Persistencia	Persistencia y Producción Total	Rendimiento Máximo y Producción Total	Autor
.08	.40	.81	Sikka, 1950
.22	.53	.95	Mahadevan, 1951
.17	.33	.78	Johansson, 1958*
-	.32	.81	Lennon y Mixner, 1958*
.86	.31	-	Wood, 1968
-	.36	.81	Gill, 1971
.40 a .60	-	.80 a .95	Mao, 1984

*En Johansson (1961)

Resultados de investigaciones sobre las asociaciones entre los componentes de la curva y el rendimiento total por lactancia, muestran mayores correlaciones entre el rendimiento máximo con el rendimiento total por lactancia (.78), mientras que para la asociación entre la persistencia con el rendimiento total, fueron por debajo de un 50 % (.33), indicando que una selección sobre el rendimiento total podría ocasionar una mejora mayor en el rendimiento máximo que en la persistencia, sin embargo ambas características podrían ser mejoradas (Everett, 1977).

La existencia de una asociación genética entre dos características provoca cambios en una de ellas como resultado de la aplicación de una selección sobre la otra, además de mostrar la importancia de utilizar selección indirecta.

Los componentes de la curva podrían ser incluidos tanto dentro de un programa de evaluación genética de animales para producción de leche, como en un programa genético para producción de leche que provoque cambios favorables en ellos.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Origen de los Datos

Se analizaron 27852 registros de producción diaria de leche tomados durante los años de 1987 y 1988, provenientes de 65 cabras de grupo genético criollo encastado a raza Nubia, localizadas en la posta caprina de la unidad de producción pecuaria del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC).

3.2. Descripción del Area de Estudio

El estudio se desarrolló en la posta caprina del ICA-UABC que tiene como finalidad principal la docencia e investigación y se localiza en el Ejido Nuevo León, situado a 50 km al SE de la Ciudad de Mexicali, Baja California, entre las coordenadas 114°45' a 115°40' de longitud Oeste y 31°40' a 32°40' de latitud Norte, a una altitud de 12 mt snm.

El clima de la región según el sistema de clasificación de Köppen modificado por García (1973), se define como BW (h') hs (e'), muy seco, cálido, con una temperatura media anual de 22°C, registrándose temperatura por abajo de 18°C en el mes mas frío, con un régimen de lluvias en invierno y una oscilación de las temperaturas medias anuales mayor de los 14°C; un promedio de precipitación de 100 mm, vientos dominantes de Norte-Noroeste durante el invierno, y durante el verano suelen presentarse chubascos provenientes del golfo de California.

3.3. Aspectos de Manejo Relevantes en la Explotación

El estudio comprendió dos ciclos de lactancia en 65 hembras con diferente proporción de Nubia. El programa inició en 1980 empleando hembras nativas adquiridas en el valle de Mexicali.

El sistema de producción fue de estabulación completa con dos ordeños al día (06:00 y 16:00 hr) se tomó información de los registros mañana como y tarde con una báscula de reloj con capacidad para 16 kg y cubetas del No.8. La leche es destinada para la alimentación de los cabritos en dos horarios hasta cumplir los cuarenta y cinco días de edad; la restante se destina a la producción de queso.

Del parto a los quince días de edad, el cabrito permanece junto a la madre; a partir del día 16 post-parto inicia la contabilización de los registros de producción láctea.

Durante el período de producción, las cabras fueron alimentados con 2 kg/d de concentrado lechero, 16% de PC y 3.2 Kcal de EM, ofrecido después del ordeño, además de heno de alfalfa antes del ordeño. Durante el período seco se restringió el consumo de concentrado y solo se ofreció heno de alfalfa tanto en la mañana como en la tarde a la misma hora. A los sementales se les ofreció alfalfa, sales minerales en bloque y el agua *ad libitum*.

Al iniciar el registro de la producción láctea, los cabritos se separaron de su madre hacia corrales independientes, y su alimentación a base de leche se fue reduciendo gradualmente hasta el destete (45 d) en períodos escalonados de 15 d, (2:1:5 lts por período, respectivamente), mientras la administración de heno de alfalfa se incrementaba hasta sustituir completamente a la leche de la dieta.

Cada seis meses (en abril y octubre) el rebaño es sometido a un manejo que consistió en la aplicación de vitaminas A,D,E, despezñado, y desparasitado interno además del descornado. El criterio para el desecho de las hembras fue por baja producción y por edad.

Durante el período de estudio se aplicaron reconstituyentes a los sementales en tres ocasiones durante los diez días antes de la época de empadre, con la finalidad de que soportaran el manejo reproductivo ante una relación macho:hembra de 1:20, además del estrés calórico durante los primeros meses del período de empadre, al registrarse temperaturas superiores a los 40°C. Los sementales se mantuvieron separados de las hembras en corraletas individuales, al presentar una hembra el celo, el macho tuvo acceso al corral de las hembras y retirado después de montar dos veces a la cabra, registrando la información del semental utilizado y fecha de monta a la tarjeta de la hembra. La detección de los celos fue efectuada mediante observación visual, durante la mañana y por la tarde.

Del total de sementales con que cuenta el módulo caprino, dos fueron adquiridos en Tucson, Arizona, tomándose el resto del mismo rebaño.

Al presentarse el parto en la cabra se aplicaban 2 cc de oxitocina y 2 cc de vitamina A,D,E, mientras que al cabrito recién nacido se le limpiaban las fosas nasales, se registraba su peso y aretaba.

3.4. Análisis Estadístico

La información considerada en este estudio fue:

- a) Identificación de la cabra
- b) Padre de la cabra

- c) Fecha de parto
- d) Número de parto
- e) Tipo de parto
- f) Largo de lactancia
- g) Producción semanal de leche
- h) Producción de leche total (2 ordeñas)
- i) Producción de leche ajustada a 305 días (2 ordeñas)

Los registros fueron clasificados de acuerdo al número, tipo, año y mes de parto, además del padre de la cabra.

3.4.1. Construcción de la Curva de Lactancia

Para describir el comportamiento de la producción de leche durante la lactancia y al mismo tiempo estimar sus componentes, se utilizó la función gamma incompleta (Wood, 1967, 1968, 1974):

$$Y_n = A n^b e^{-cn} \dots (1)$$

donde Y_n es el promedio de la producción de leche diaria registrada en la n-ésima semana después del parto; A es un factor de escala representando el inicio de la lactancia; n es el tiempo expresado en semanas; b y c son constantes que definen la forma de la curva, b representa un índice de la capacidad del animal para producción de leche (Shanks et al., 1981) ó simplemente en términos matemáticos la pendiente positiva en la porción temprana de la curva de lactancia, c representa la tasa de declinación después de alcanzado el punto de máximo rendimiento; y e es la base del logaritmo natural.

Los parámetros que definen la función gamma incompleta fueron estimados con ayuda de un procedimiento iterativo no-lineal de Marquardt.

3.4.1.1. Método Iterativo No-Lineal

La forma de estimar los valores para los parámetros del modelo (1) a partir de datos no-transformados, es otorgando igual ponderación a los valores observables, lo cual se logra utilizando el modelo en su forma original empleando el método iterativo de estimación no lineal de mínimos cuadrados (Marquardt, 1970) en el cual las constantes son encontradas por minimización numérica de la suma de cuadrados de residuales con respecto a las mismas constantes. En la forma no-lineal, las varianzas para las desviaciones del rendimiento diario a partir de las curvas estimadas después del primer mes de lactancia son homogéneas (Kellogg et al., 1977).

Empleando las constantes obtenidas por los tres procedimientos sobre el modelo original (1), se obtuvieron estimaciones para producción total ajustada a 305 días, rendimiento máximo, punto de máxima producción y persistencia según Wood (1967, 1970, 1974).

Las constantes obtenidas por cada procedimiento fueron generadas utilizando los procedimientos GLM (General Lineal Model), opción Weight, y NLIN (No linear) del programa computacional SAS (Statistical Analysis System versión 9.0), respectivamente.

3.4.2. Análisis Ambiental

Para cuantificar los efectos no genéticos o ambientales sobre las constantes del modelo (1) obtenidas por el procedimiento no-lineal, además de las funciones generadas, se utilizó el siguiente modelo lineal de efectos fijos:

$$Y_{ijklmn} = \mu + S_i + NP_j + TP_k + AP_l + MP_m + (AP * MP)_{lm} + \beta_1 LL + \beta_2 (LL)^2 + \xi_{ijklmn}$$

donde:

- Y_{ijklmn} = Una observación de las constantes a, b y c, producción total, producción ajustada a 305 días, rendimiento máximo, punto de máxima producción y persistencia.
- μ = Media general;
- S_i = Efecto del i-ésimo padre de la cabra (i=1,2,...10);
- NP_j = Efecto del j-ésimo parto (j=1,2,3,4);
- TP_k = Efecto del k-ésimo tipo de parto (k=1,2,3);
- AP_l = Efecto del l-ésimo año de parto (l=1,2);
- MP_m = Efecto del m-ésimo mes de parto (m=1,2,3);
- $(AP*MP)_{lm}$ = Efecto de la interacción año x mes de parto;
- β_1 = Coeficientes de regresión parcial asociados al efecto lineal de la forma de la curva de lactancia;
- β_2 = Coeficientes de regresión parcial asociados al efecto cuadrático de la forma de la curva de lactancia;
- LL = Largo de lactancia; y
- ξ_{ijklmn} = Error aleatorio $\sim NI(0, \sigma^2)$

Por no estar registrado el sexo de la cría, no se consideró tal efecto dentro del modelo.

Para evaluar y cuantificar los distintos efectos sobre las variables de respuesta, se utilizaron técnicas para modelos lineales (Neter y Wasserman, 1974), y se analizó como modelo 1 del programa computacional LSMLMW Y MIXMDL para PC (Harvey, 1988).

Las medias de mínimos cuadrados obtenidas en cada uno de los análisis se utilizaron para remover el efecto de los componentes del modelo que resultaron significativos ($P < .05$) mediante la construcción de factores de corrección multiplicativos y disponer de estimaciones genéticas insesgadas ocasionado por los efectos ambientales. El ajuste se realizó llevando las medias hacia aquella que presentara mejor comportamiento.

3.4.3. Análisis Genético

Se utilizó la información de las variables de respuesta una vez ajustadas por efectos ambientales importantes ($P < .05$).

3.4.3.1. Estimación del Índice de Constancia o Repetibilidad (t^2)

Se incluyó el componente cabra dentro del modelo, considerando la información ajustada. Para su estimación, se empleó el modelo 2 del programa LSMLMW Y MIXMDL para PC (Harvey, 1988).

$$Y_{ik} = \mu + C_i + \varepsilon_{ik}$$

donde: Y_{ik} es una observación de las constantes a, b y c, producción total, producción ajustada a 305 días, rendimiento máximo, punto de máxima producción y persistencia; μ es la media general; C_i es el efecto de la i-ésima cabra; y ε_{ik} es la desviación ambiental del j-ésimo registro tomado dentro de cada i-ésimo individuo.

Los componentes de cabra y del error se consideran aleatorios $\sim NI(0, \sigma_e^2)$, mientras que $Y \sim NI(0, \sigma_c^2)$.

3.4.3.2. Estimación del Índice de Herencia ó Heredabilidad (h^2)

Se estimaron índices de herencia para los componentes de la curva de lactancia, los parámetros de la función gamma incompleta, la persistencia, en el caso de las producciones de leche total y ajustada a 305 días empleando un análisis de medias hermanas paternas (Becker, 1984), utilizando el Modelo 2 del programa computacional LSMLMW Y MIXMDL para PC (Harvey, 1988). El modelo lineal utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + TC_j + NP_k + EP_l + \beta_1 (LL) + \beta_2 (LL)^2 + \varepsilon_{ijkl}$$

donde: Y_{ijkl} es la producción total de leche, producción ajustada a 305 días, las constantes a, b y c, rendimiento máximo, punto de máxima producción y persistencia; μ es la media general; S_i es el efecto aleatorio del i-ésimo padre de la cabra $\sim NI(0, \sigma_s^2)$, TC_j es el efecto del j-ésimo tamaño de camada, NP_k es el efecto del k-ésimo número de parto, EP_l es el efecto de la l-ésima época de parto, β_1 y β_2 son los coeficientes de regresión lineal y cuadrático para largo de lactancia, y ε_{ijkl} es el efecto del error aleatorio $\sim NI(0, \sigma_e^2)$.

Los componentes de regresión fueron conservados cuando la variable de respuesta fue la producción total de leche.

3.4.3.3. Estimación de las correlaciones genéticas (r_g)

Se empleó un modelo multivariado para considerar las covarianzas existentes entre dos características. Los valores de asociación fueron obtenidos usando la correlación de medias hermanas paternas (Becker, 1984). El modelo estadístico fue similar al empleado en la estimación del índice de herencia. De igual manera se

asumen que el padre de la cabra y el error son los únicos efectos aleatorios, el resto son efectos fijos. Se utilizó el Modelo 2 del programa computacional LSMLMW Y MIXMDL para PC (Harvey, 1988).

3.5. Construcción de un Índice de selección

Considere que se tienen características fenotípicas $X_1, X_2, \dots, X_n$, las cuales se describen como:

$$X_{ij} = \mu_i + G_{ij} + E_{ij}$$

donde:

X_{ij} = Valor fenotípico de la i-ésima característica, en el j-ésimo individuo.

μ_i = Media general de la i-ésima característica.

G_{ij} = Valor genotípico de la i-ésima característica en el j-ésimo individuo.

E_{ij} = Efecto ambiental en i-ésima característica, en el j-ésimo individuo.

3.5.1. Supuestos básicos en la construcción del índice:

- a) Las características se distribuyen normalmente.
- b) No existe correlación entre efectos genotípicos y ambientales.
- c) Los individuos disponibles son una muestra aleatoria de la población.
- d) El medio ambiente para cada individuo es aleatorio.

3.5.2. Definición del valor genético agregado o total

El valor genético agregado es una combinación lineal de genotipos o valores reproductivos, ponderados por su importancia, la cual generalmente es económica. En forma de ecuación el valor genético agregado se representa:

$$H = a_1G_1 + a_2G_2 + \dots + a_nG_n = \sum_{i=1}^n a_iG_i$$

donde:

H = Valor genético agregado.

G_i = Valor genético aditivo del i-ésimo animal

A_i = Valor económico relativo de la i-ésima característica.

El mérito genético-económico se definió como una función lineal de los valores genéticos aditivos para Ltot, Rmax, Pers, los parámetros de la curva de lactancia (A, b y c), donde las a_i s corresponden a los valores económicos para cada característica ($A_i=1$) y las G_i s se refieren a los valores genéticos aditivos para cada característica incluida.

Un estimador del genotipo agregado (H), basado en la información fenotípica de los animales en evaluación es:

$$I = b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n = \sum_{i=1}^n b_iX_i$$

donde:

I = Índice de Selección.

X_i = Valores fenotípicos observados para la i-ésima característica.

b_1 = Factores de ponderación.

Se definieron siete criterios de selección variando Rmax, Ltot y Pers dentro de una función lineal de valores fenotípicos, todos ellos con la mejor ponderación para la información disponible.

Para encontrar los estimadores de las b's involucradas en el índice I es necesario maximizar la correlación entre H e I ó minimizar los errores de predicción

(I-H). El proceso de minimización da origen al siguiente sistema de ecuaciones normales.

$$\begin{array}{rcl}
 b_1 S_{x_1}^2 + b_2 S_{x_1 x_2} + \dots + b_n S_{x_1 x_n} & = & a_1 S_{g_1}^2 + a_2 S_{g_1 g_2} + \dots + a_n S_{g_1 g_n} \\
 b_1 S_{x_2 x_1} + b_2 S_{x_2}^2 + \dots + b_n S_{x_2 x_n} & = & a_1 S_{g_2 g_1} + a_2 S_{g_2}^2 + \dots + a_n S_{g_2 g_n} \\
 \cdot & & \cdot \\
 \cdot & & \cdot \\
 \cdot & & \cdot \\
 b_1 S_{x_n x_1} + b_2 S_{x_n x_2} + \dots + b_n S_{x_n}^2 & = & a_1 S_{g_n g_1} + a_2 S_{g_n g_2} + \dots + a_n S_{g_n}^2
 \end{array}$$

donde:

$X_1, X_2, \dots, X_n$ = Características motivo de selección

$S_{x_1}^2, S_{x_2}^2, \dots, S_{x_n}^2$ = Varianzas fenotípicas

$S_{g_1}^2, S_{g_2}^2, \dots, S_{g_n}^2$ = Varianzas genéticas estimadas.

$S_{x_1 x_2}, \dots, S_{x_n x_{n-1}}$ = Covarianzas fenotípicas.

$S_{g_1 g_2}, \dots, S_{g_n g_{n-1}}$ = Covarianzas genéticas estimadas

$a_1, a_2, \dots, a_n$ = Ponderaciones económicas relativas

$b_1, b_2, \dots, b_n$ = Coeficientes de regresión parcial.

Resolviendo el sistema de ecuaciones normales se encuentran los valores de las b 's que minimizan los errores de predicción.

3.5.3. Generalización del Método de Índice de Selección

Ecuaciones Normales Expresadas en Forma Matricial.

Las ecuaciones normales previamente descritas pueden ser representadas por medio de notación matricial.

$$\begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i1} & P_{i2} & P_{ij} & \dots & P_{in} \\ \dots & \dots & \cdot & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdot & \dots & P_{nn} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \cdot \\ b_i \\ \cdot \\ b_n \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} G_{11} & G_{12} & \dots & G_{1n} \\ G_{21} & G_{22} & \dots & G_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ G_{i1} & G_{i2} & G_{ij} & \dots & G_{in} \\ \dots & \dots & \cdot & \dots & \dots \\ G_{n1} & G_{n2} & \cdot & \dots & G_{nn} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_2 \\ \cdot \\ a_i \\ \cdot \\ a_n \end{bmatrix}$$

Matriz Fenotípica
Vector
Matriz Genotípica
Vector
(P)
b's (b)
(G)
a's (a)

El sistema de ecuaciones normales expresado en forma simbólica tendría la forma:

$$P b = G a$$

donde:

P = Matriz fenotípica de varianzas-covarianzas

$P_{ij} = S^2_{x_1} = \text{Varianza } (x_1) \quad i = j$

$P_{ij} = S_{x_i x_j} = \text{Covarianza } (x_i, x_j) \quad i \neq j$

a = Vector de valores económicos ponderados

b = Vector de coeficientes de regresión parcial.

G = Matriz genética de varianzas-Covarianzas.

$G_{ij} = S^2_{g_i} = \text{Varianza } (g_i) \quad i = j$

$G_{ij} = S_{g_i g_j} = \text{Covarianza } (g_i, g_j) \quad i \neq j$

Del sistema de ecuaciones normales descrito se hace notar lo siguiente:

- a. Las ecuaciones normales son simétricas, de manera que el número de columnas es igual al número de hileras de la matriz.

- b. Las X_i son observaciones fenotípicas referentes a individuos o promedios de grupos de individuos.
- c. Las a_i pueden tomar cualquier valor, incluso cero (si se usa la característica como indicador).

La solución de las ecuaciones normales se expresa de la siguiente manera:

$$b = P^{-1} G a$$

En este trabajo el procedimiento para resolver los índices fue a partir de la metodología propuesta por Henderson (1963), donde los valores económicos son incorporados en el último paso de la estimación.

$$I = \sum_{i=1}^n a_i I_i$$

Las varianzas de I y H como la covarianza entre ellos son importantes en la estimación del progreso genético, cuando se selecciona un animal en base a varias características de importancia económica.

Sea:

$$I = b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n = \sum_{i=1}^n b_i X_i$$

$$S^2_I = \text{Var} (\sum b_i X_i) = \sum \sum b_i b_j P_{ij}; \text{ o también } = b' P b \text{ (forma matricial)}$$

$$H = A_1 G_1 + A_2 G_2 + \dots + A_n G_n = \sum_{i=1}^n A_i G_i$$

$$S^2_H = \text{Var} (H) = \text{Var} (\sum a_i G_i) = S S a_i a_j G_{ij}; \text{ o también } = a' G a$$

Puede demostrarse además que la covarianza entre I, H es igual a :

$$S_{I,H} = \text{COV} (I,H) = \sum \sum a_i b_j G_{ij} = S^2_I; \text{ o también } = b' G a = b' P b = S^2_I$$

donde: b' y a' denotan la transpuesta de los vectores correspondientes.

La correlación entre el índice de selección y el genotipo agregado denota la precisión con que se realiza la selección basada en el estimador (índice).

$$\text{Correlación}(I, H) = r_{HI} = \frac{\text{Cov}(HI)}{\sqrt{\text{Var}(I) \text{Var}(H)}} = \frac{b' Ga}{\sigma_I \sigma_H} = \frac{b' Pb}{\sigma_I \sigma_H} = \frac{\sigma_I^2}{\sigma_I \sigma_H} = \frac{\sigma_I}{\sigma_H}$$

La forma de juzgar las bondades de un índice de selección es en base a la respuesta o progreso genético esperado en cada característica de importancia económica incluida en el índice o en su caso a la respuesta esperada en el genotipo agregado (H).

a. Progreso genético esperado en H.

$$\Delta H = r_{IH} \cdot i \cdot S_H = S_I \cdot i$$

El progreso genético en H, depende de la variabilidad fenotípica de las características incluidas en el índice y de la proporción de individuos seleccionados.

b. Progreso genético esperado en G_i (Genotipo de la i -ésima característica).

En la estimación del progreso genético para cada una de las características (Δ_{G_i}), en el genotipo agregado (Δ_H) se consideró un valor de intensidad de selección (i) igual a una desviación estándar arriba de la media ($i = 1.521$).

$$\Delta G_i = r_{IG_i} \cdot i \cdot S_{G_i} = \frac{\text{Cov}(I G_i)}{\sqrt{\text{Var}(I) \text{Var}(G_i)}} \cdot i \cdot S_{G_i} = \frac{G b i}{S_I}$$

(Progreso genético económico por selección) = (Precisión) (intensidad) (Varianza genética).

Todas las operaciones involucradas en la construcción de índices de selección se realizaron con estructura de datos en matrices haciendo uso del procedimiento para el manejo de matrices, PROCIML del paquete estadístico SAS 9.0 (SAS, 1998).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Promedios generales

Los promedios generales y sus errores estándar para las variables consideradas por cada procedimiento de solución se presentan en el Cuadro 4. El rendimiento de leche total por cabra por lactancia fue de 382.813 ± 14 kg en un promedio de 209.63 ± 4.63 días, mientras que la proyección de leche (2x) a 305 días empleando la función de Wood (1967), el promedio alcanzó 461.418 ± 115 kg, situándose por encima de lo expuesto por varios autores, como Valencia et al. (1991) que reportaron un valor de 204 ± 91 kg en un período mayor de lactancia (233 ± 43.7 días), Cabello et al. (1992) con un valor de 198.89 en 240 días bajo condiciones similares a las del valle de Mexicali. Mazumder y Mazumder (1982) señalaron una cantidad de 233.72 kg en una lactancia de 172 días.

García et al. (1972) empleando varios grupos genéticos reportaron promedios alrededor de los 300 kg. e inclusive hay reportes con 155 kg para hembras Nubia. Montaldo et al. (1980) reportaron producciones de hasta 214 kg para Nubia; 234 kg para los cruzamientos de criollo x Nubia; 290 kg para animales con 3/4 Nubia y alrededor de 300 kg para criollos x otros grupos genéticos (Montaldo, 1980). Además fueron superiores al promedio de aquellos animales producto del cruzamiento de genotipos criollos por tipos genéticos de pureza relativa, con valores de entre 57 a 151 kg. (Valencia y Montaldo, 1991). Los rendimientos en leche fueron similares a los reportes de Montaldo (1980) para cabras Nubia con promedios de 344 a 375 kg durante 236 días de lactancia. Pero por debajo del registro mundial para razas lecheras

puras de alrededor de 2000 kg, Grossman et al. (1986), quienes reportaron un promedio de 750 kg en un largo de 258 días para razas especializadas, los reportes de Kennedy et al. (1981) con valores de 660 a 730 kg, de Alderson y Pollack (1980) con valores de producción de 815 a 980 kg, de Grossman y Wiggans (1980) con promedios de 897.32 kg, y de Knowles y Watkins (1938) con rangos de 840 a 1200 kg en poblaciones caprinas de los Estados Unidos.

Cuadro 4. Medias por mínimos cuadrados y sus errores estándar para las distintas variables bajo estudio.

Variable	Sin ajuste		Con ajuste	
	Media	E.E.	Media	E.E.
PReal	382.814	10.659	482.872	13.978
A	2.010	0.057	2.908	0.073
b	0.428	0.018	0.385	0.016
c	0.086	0.003	0.110	0.004
S	3.546	0.031	3.597	0.029
b/c	5.040	0.127	4.865	0.112
RMax	2.574	0.057	3.031	0.065
P305d	461.418	10.686	560.197	13.302

PReal =Producción real por lactancia (kg)

A =Producción al inicio de la lactancia

b = Tasa de incremento de la producción, hasta un máximo

c = Tasa de declinación a partir de un máximo

Pers = Persistencia (g/d)

b/c = Punto de máximo rendimiento

RMax =Rendimiento máximo (kg)

P305d = Producción ajustada a un largo de lactancia de 305 días

En el Cuadro 1 se muestran los promedios de producción de leche por lactancia para distintos grupos genéticos en México, oscilando desde 57 hasta 3430 kg dependiendo del genotipo y tipo de poblaciones. De éstas las poblaciones nativas de cabras no-seleccionadas, muestran un rango de 57 a 310 kg en función de los diversos sistemas de explotación. Estos resultados muestran gran variabilidad entre grupos genéticos para las características de producción de leche. Además de la variabilidad existente del producto del sistema de cruzamiento empleado, además se reflejan

diferencias por las condiciones ambientales benignas, y la organización operativa en el sistema de producción animal, principalmente los programas de alimentación y manejo.

Con respecto al rendimiento alcanzado al extender las lactancias a un largo de 305-d, al aplicar el modelo de Wood (Congleton y Everett, 1980), el rendimiento se incrementó en un 20.53 y 16.01 % atribuible al procedimiento de solución, y dentro de él, comparando producciones reales y ajustadas por efectos ambientales, respectivamente (Figura 1).

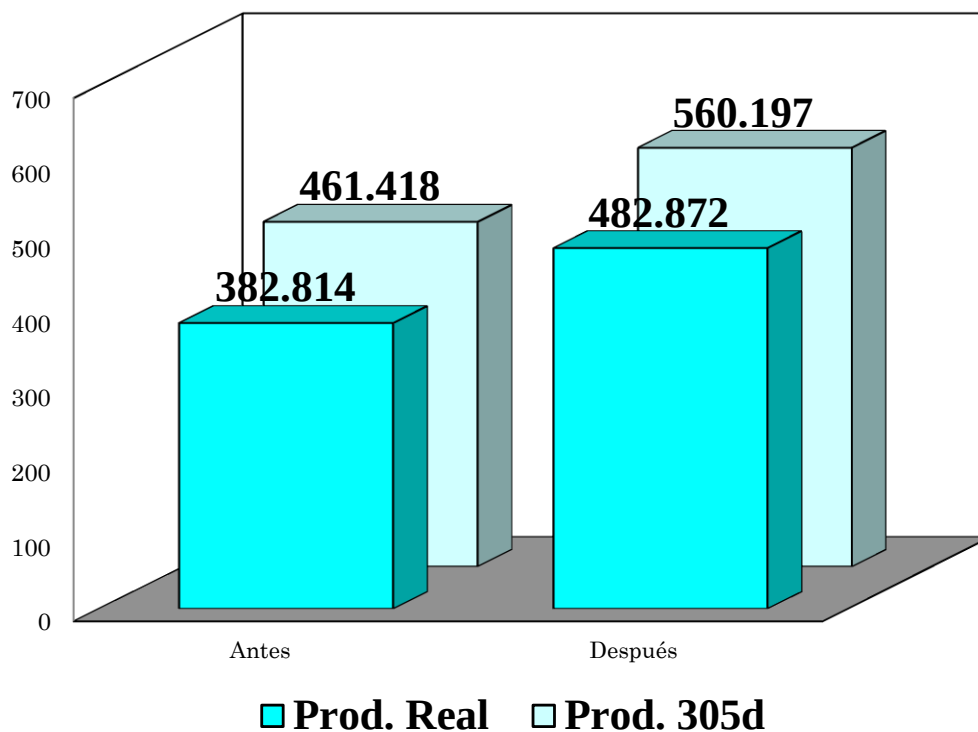


Figura 1. Promedios de producción de leche antes y después del ajuste por efectos ambientales, por el procedimiento de estimación no-lineal

4.2. Producción de leche por número de parto

Se observó una diferencia ($P < .01$) por número de parto para los rendimientos reales de producción y producción a 305 días utilizando la solución no-lineal, mostrando un comportamiento lineal conforme era mayor el número de parto (Figura 2), confirmando la dependencia positiva de un mayor rendimiento lechero por cambios en el número de parto. De hecho, se observó un incremento del 20.38 % hacia el tercer parto y de un 34.96 % hacia el cuarto parto, ambos referidos al rendimiento alcanzado en el primer parto.

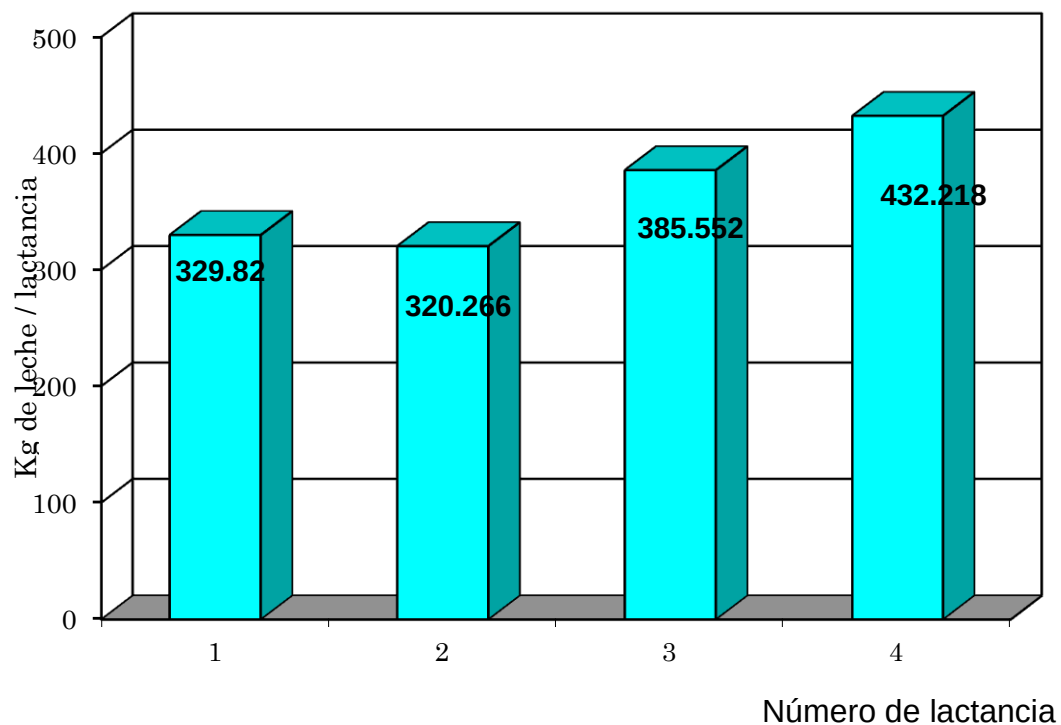


Figura 2. Producción de leche por número de lactancia

El incremento logrado al cuarto parto respecto al parto anterior fue de un 12.1 %. La pequeña diferencia existente entre el primero y el segundo parto puede atribuirse a una alimentación inadecuada, la cual afectó negativamente la condición corporal, además de un efecto de estrés ambiental por los cambios repentinos en las condiciones climatológicas de la región; sin embargo, se observó que las diferencias existentes entre partos son mayormente atribuibles al desarrollo corporal del animal, mostrando una mejora en su eficiencia conforme se aumenta en el número de parto (Agraz, 1984). Por otra parte, Arbiza (1986) concluyó que los rendimientos en cabras primerizas fueron menores al existir una mayor demanda nutricional por el crecimiento corporal, y mantenimiento (Alderson y Pollack, 1980; Grosman y Wiggans, 1980).

Similar análisis presentaron Mellado et al. en 1991 y Valencia et al. en 1992 para cabras mestizas. Las diferencias en las producciones por número de parto son debidas principalmente a cambios fisiológicos en el animal (Johansson y Rendel, 1972), sin embargo, las observaciones de Mazumder y Mazumder (1982) señalan una mayor producción en animales del primero que en partos posteriores.

4.3. Producción de leche por tipo de parto

Diferencias importantes ($P < .05$) para rendimiento real por tipo de parto fueron observadas como resultado de los datos analizados mostrando un comportamiento lineal y proporcional al cambiar de partos sencillos a partos triples (Figura 3). Un aumento del 14.98 % se presentó en la producción bajo un tipo de parto doble o "cuateo", mientras que bajo "trillizos", se incrementó a un 17.71 % con respecto al de un parto sencillo. El incremento entre tipo de parto doble a triple fue de solo 2.4 %, no obstante, suficiente para mostrar diferencias ($P < .05$) entre estos. Utilizando cabras criollas encastadas con Nubia, Madrid-Bury et al. (1982), no encontraron diferencias en producción de leche atribuible al tipo de parto.

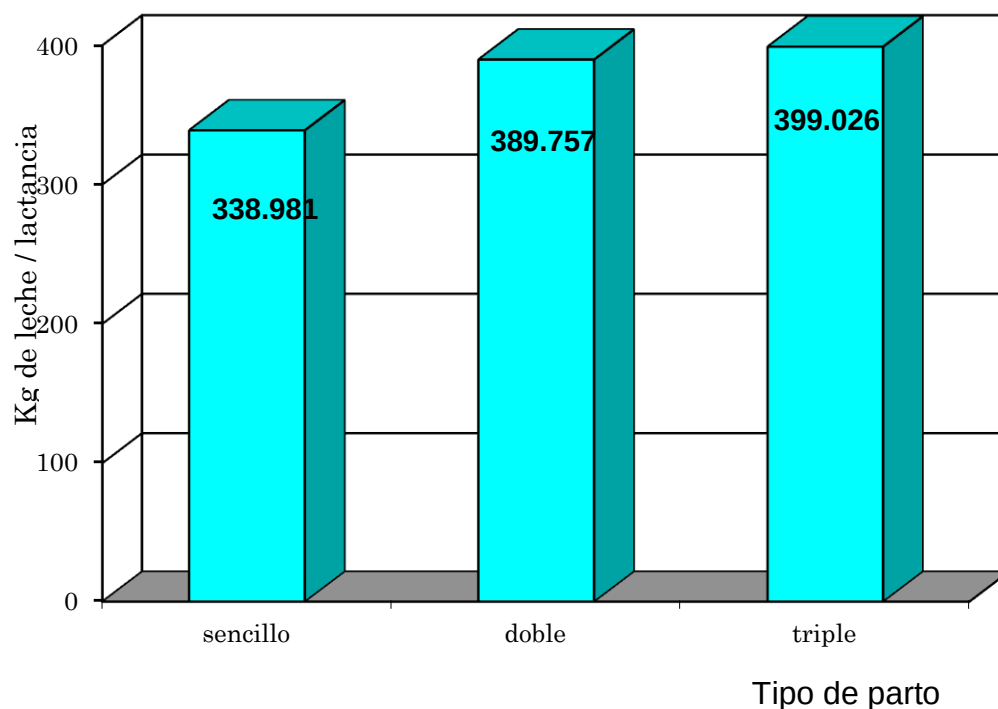


Figura 3. Producción de leche total por tipo de parto

4.4. Estimación de los componentes de la curva de lactancia

Los valores promedio para los estimadores que definen la función gamma incompleta (Wood, 1967), así como aquellos para las funciones generadas sus desviaciones estándar, se presentan en el Cuadro 4, tanto en la variante sin ajuste como después de haber sido aplicado el ajuste de tipo multiplicativo a los efectos ambientales significativos ($P < .05$). El valor más bajo para A se obtuvo con 2.01. Con respecto a los valores para b, el mayor correspondió .43 similar al reporte de Cobby y LeDu (1978) con $.43 \pm .04$. Los valores para el estimador de c osciló entre .05 a .08 para los procedimientos sin ajustar, mientras que al utilizar la información después del ajuste por los efectos ambientales, se observó una variación de .04 a .11, siendo los

valores más altos aquellos bajo el procedimiento de solución no-lineal. Los valores del coeficiente de determinación y cuadrado medio del error correspondieron a .95 y 6.50. El punto de ocurrencia del máximo rendimiento se alcanzó a las 5.04 semanas (Figura 4), siendo similar a los resultados de Prakash y Kanna (1972) y Mory-Fehr y Sauvant (1980) trabajando con distintos grupos genéticos de cabras. Al ajustar por efectos ambientales importantes, la ocurrencia del máximo rendimiento disminuyó bajo el procedimiento no-lineal.

El rendimiento máximo alcanzado en 2.57. Al analizar los datos del rendimiento máximo alcanzado después de aplicar el factor de corrección multiplicativo, se observó un incremento aproximado de .5 kg de leche. Las curvas que mejor ajustaron al comportamiento real de producción semanal fueron las construidas con los datos sin ajustar. Al utilizar la solución no-lineal, se observa una sobreestimación en el primer tercio de la lactancia y una subestimación de ésta hacia el último tercio. Al tomar la solución de los procedimientos empleando datos ajustados, se observó que el procedimiento no-lineal mostró un comportamiento similar a aquel con datos sin ajustar; sin embargo con mayor efecto al sobreestimar y subestimar el comportamiento de la producción de leche.

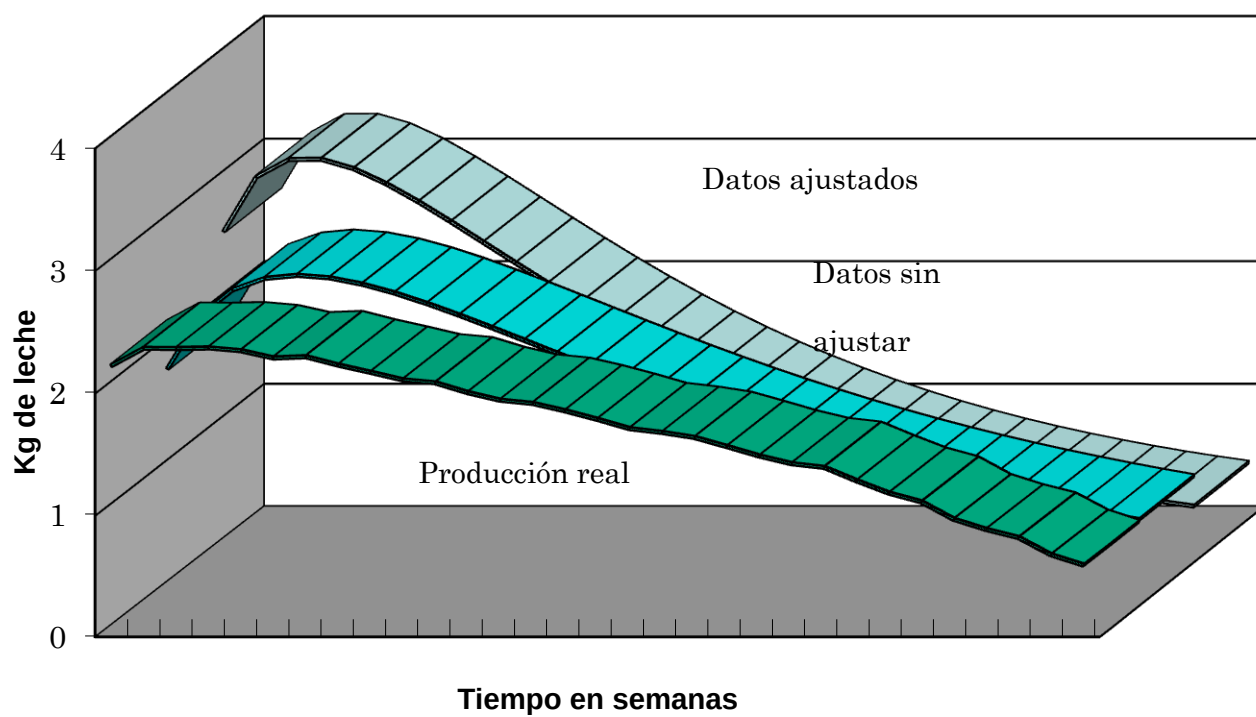


Figura 4. Curvas de lactancia. Construcción utilizando el procedimiento no-lineal.

4.5. Influencia ambiental sobre los componentes de la curva

El resultado de la evaluación del efecto ambiental sobre los estimadores que definen la curva de lactancia obtenidos bajo procedimiento de solución, valor de persistencia, rendimiento máximo, punto de máxima producción, y producciones reales y ajustadas a 305 días, se resume en los Cuadros 5, 6, 9 y 10.

En los Cuadros 5 y 9 se observan efectos importantes del número y mes de parto sobre los valores del rendimiento real por lactancia ($P<.01$), al igual que para la producción ajustada a un largo de lactancia de 305-d. Las producciones: reales como ajustadas a 305-d, mostraron un comportamiento proporcional al aumentar el número de parto, lo que coincide con Mellado et al. (1991) y Valencia et al. (1992). Esto se explica por los requerimientos de energía, los cuales, en las hembras primerizas, además de tener que satisfacer las necesidades para producción de leche, deben satisfacer sus necesidades de crecimiento corporal y aumento de tejido en la glándula mamaria, necesaria para la síntesis de leche.

Además, la estacionalidad en la producción es muy marcada en esta región del país de clima desértico, alcanzando valores por encima de los 40°C a la sombra y en algunos meses un incremento en la humedad relativa, provocando que el animal entre en un estado de estrés permanente, ocasionando una disminución, de hasta 40 %, en el consumo de alimento y de la actividad en general. Efectos similares son reportados por Valencia et al. (1992) e inclusive del año en que se presentaba el parto, coincidiendo con los resultados de Montaldo (1980). Para corregirlos es necesario considerarlos de manera conjunta al igual que Montaldo et al. (1981) y Schaeffer y Burnside (1976).

Efectos similares a los anteriores fueron encontrados para A y para el rendimiento máximo. Se aprecia un efecto del padre del animal sobre los valores “b” en la solución no-lineal posiblemente atribuibles a la variación en los valores de diferencia predecible para producción de leche en los sementales, dada por el origen, ya que siete procedían de los Estados Unidos, mientras que solo tres de la región, adaptados a las condiciones climáticas locales.

Cuadro 5. Análisis de varianza para las constantes de la curva de lactancia y tiempo en alcanzar el máximo de producción (b/c). Datos originales.

CUADRADOS MEDIOS					
FV	gl	A	b	c	b/c
Padre	9	16.1565	.0357	.00113 *	7.7443
No. de parto	3	77.3972 **	.0150	.00024	15.4615
Tipo de parto	2	26.1814	.0559	.00215 *	9.7980
Año de parto	1	26.8568	.0203	.00069	.2305
Mes de parto	2	91.0493 **	.0010	.00035	53.623 **
AP x MP	2	27.2708	.0093	.00241 **	60.865 **
Covariable					
LL (Lineal)	1	26.4403	.1500 **	.01098 **	21.0560
LL (Cuadrático)	1	22.2041	.1242 **	.00769 **	23.6592
Error	97	11.6787	.0191	.00050	7.3851

* (P<.05)

** (P<.01)

A =Producción al inicio de la lactancia

b = Tasa de incremento de la producción, hasta un máximo

c = Tasa de declinación a partir de un máximo

b/c = Punto de máximo rendimiento

LL = Largo de lactancia

Cuadro 6. Análisis de varianza para persistencia (Pers), producción total de leche (PReal), rendimiento máximo (RMax) y producción ajustada por largo de lactancia (P305d). Datos originales.

FV	gl	CUADRADOS MEDIOS			
		Pers	PReal	RMax	P305d
Padre	9	.1271	4851.1088	11.9745	7648.4598
No. de parto	3	.0893	28163.4657 **	59.8568 **	43515.8373 **
Tipo de parto	2	.3692 *	16138.7064	74.1427 **	10976.7268
Año de parto	1	.0282	1260.4892	40.6599	885.8344
Mes de parto	2	.9885 **	39442.7417 **	89.2438 **	31191.2761 *
AP x MP	2	1.2014 **	1929.0156	10.0530	3478.6165
Covariable					
LL (Lineal)	1	.7789 **	7087.1262	15.9796	
LL (Cuadrático)	1	.5689 *	24.8652	8.6120	
Error	97	.1125	5995.2099	12.9419	9073.1056

* (P<.05)

** (P<.01)

Pers = Persistencia estimada a partir de la fórmula de Wood

PReal =Producción real por lactancia

RMax =Rendimiento máximo

P305d = Producción ajustada a un largo de lactancia de 305 días

LL = Largo de lactancia

Cuadro 7. Análisis de varianza para las constantes de la curva de lactancia y tiempo en alcanzar el máximo de producción (b/c), obtenidos al aplicar el procedimiento no-lineal.

FV	gl	CUADRADOS MEDIOS			
		A	b	c	b/c
Padre	9	17.2977	.0553 *	.00047 **	1.7412
No. de parto	3	66.4507 **	.0226	.00034 *	.4045
Tipo de parto	2	35.4258	.0116	.00004	2.1200
Año de parto	1	55.0877 *	.0965 *	.00185 **	.0880
Mes de parto	2	122.964 **	.1332 **	.00032	8.8039 **
AP x MP	2	51.9628 *	.0536	.00025	6.0694 *
Covariable					
LL (Lineal)	1	8.7762	.0174	.00640 **	.0813
LL (Cuadrático)	1	5.0255	.0000	.00228 **	.0192
Error	10		1		
	6	12.7324	.0243	.00011	1.6878

* (P<.05)

** (P<.01)

A =Producción al inicio de la lactancia

b = Tasa de incremento de la producción, hasta un máximo

c = Tasa de declinación a partir de un máximo

b/c = Punto de máximo rendimiento

LL = Largo de lactancia

Cuadro 8. Análisis de varianza para las distintas estimaciones de persistencia (Pers), producción total de leche (PReal), rendimiento máximo (RMax) y producción de leche ajustada por largo de lactancia (P305d), obtenidos al aplicar el procedimiento no-lineal.

CUADRADOS MEDIOS					
FV	gl	Pers	PReal	RMax	P305d
Padre	9	.0820	5377.7059	14.0455	5620.6232
No. de parto	3	.0055	37954.2188 **	103.590 **	39549.6487 **
Tipo de parto	2	.1313	13116.0352	47.2318 *	13686.5042
Año de parto	1	.0038	2641.9216	43.8234	2787.4543
Mes de parto	2	.3606 **	38746.6053 **	79.3909 **	40388.3816 **
AP x MP	2	.4952 **	4917.5100	19.9837	4540.0721
Covariable					
LL (Lineal)	1	.0771	4036.2550	15.9893	5052.1475
LL (Cuadrático)	1	.0028	673.1204	10.5209	268.0042
Error	106	.0614	6309.5544	13.7027	6681.7411

* (P<.05)

** (P<.01)

Pers = Persistencia estimada a partir de la fórmula de Wood

PReal =Producción real por lactancia

RMax =Rendimiento máximo

P305d = Producción ajustada a un largo de lactancia de 305 días

LL = Largo de lactancia

Efectos importantes ($P < .05$) para la interacción año por mes de parto se presentaron para valores de c , y las estimaciones de persistencia. Solo para el valor de A ($P < .05$) en la estimación por métodos no-lineales (Cuadro 7), lo que señala que el descenso en la curva de lactancia está determinado fundamentalmente por condiciones climáticas, y de manejo prevalentes en el rebaño, fundamentalmente nutricional.

Un factor que incide sobre algunas características de interés en el estudio, es el efecto del tipo de parto sobre los distintos valores para persistencia. Proporcional al incremento en el número de crías al parto, los rendimientos durante las primeras 13 semanas se ven incrementados por encima del 40 % con respecto a la producción por parto sencillo, aumentando los valores para A , b y el rendimiento máximo; sin embargo, en la fase de declinación de la producción, aquellos animales que presentaron partos triples mostraron valores de pendientes (b 's) negativas con una mayor declinación con respecto a animales con partos sencillos, atribuible esto posiblemente por una falta de definición general de prácticas de alimentación y manejo.

En la obtención de los estimadores a través de la aplicación del procedimiento no-lineal (Cuadro 7 y 8), se observaron efectos importantes ($P < .05$) de año de parto sobre los valores de A , b , y persistencia. Es importante señalar que los efectos de año son erráticos, explicados fundamentalmente por diferencias en el manejo y por variaciones en las condiciones climatológicas.

4.6. Factores de corrección

Como producto del análisis de varianza efectuado, se estimaron las medias mínimo cuadráticas empleando el procedimiento propuesto por Harvey (1988) y con ellas efectuar el ajuste de los efectos ambientales significativos ($P < .05$) utilizando la variante de tipo multiplicativo, donde todas las observaciones fueron ajustadas a una media definida y con ello, lograr estimaciones genéticas insesgadas.

Los ajustes para los efectos importantes ($P < .05$) por procedimiento fueron efectuados llevando los valores al máximo de comportamiento según fuese la clase, así por ejemplo, los efectos significativos ($P < .05$) por número de parto para cualquier variable de respuesta fueron ajustados a la edad de máxima producción, que para el estudio fue el cuarto parto.

Para los efectos de la interacción año por mes de parto, se llevaron las medias hacia el año x mes de parto 2 1, mientras que cuando el efecto importante fue el tipo de parto, el ajuste se realizó llevando las medias hacia aquellas con mejor comportamiento, esto es, hacia trillizos; todo ello ocasionó que las curvas construídas con los valores para los estimadores del modelo de Wood (1967), después de efectuado el ajuste, fueran desfasadas hacia valores superiores que los datos originales.

4.7. Estimación de parámetros genéticos

Una vez que los estimadores de la función que caracteriza la curva de producción en cabras, y sus componentes como rendimiento máximo, persistencia y producción a 305 días, fueron ajustados por efectos ambientales importantes, se realizó un análisis para obtener estimadores de la repetibilidad (t^2), heredabilidad (h^2) y correlaciones genéticas (r_g) para los parámetros del modelo de Wood (1967) estimados por cada procedimiento. Para ello, se diseñó un esquema como modelo de medias hermanas paternas (Modelo 2, Harvey, 1988), en la estimación de los componentes de varianzas (σ^2_s) y covarianzas (σ_{s12}) del semental y del error (σ^2_e) y así obtener h^2 y r_g para las características de interés (Becker, 1984).

El incluir en el modelo el efecto de cabra y eliminar el efecto del padre, permitió estimar la repetibilidad ó índice de constancia (t^2) para las mismas características (Becker, 1984).

4.7.1. Índice de constancia

En el Cuadro 11 se muestran los valores para el índice de constancia ó repetibilidad (t^2) para los componentes de la curva y características derivadas de estos, de una lactancia a la siguiente, utilizando, la correlación intra-clase entre partos dentro de cabras. En general se presentaron valores altos para repetibilidad, sugiriendo influencias de efectos ambientales permanentes importantes, permitiendo predecir el comportamiento de la producción de leche en la próxima lactancia con 81 % de confiabilidad, valor cercano al doble del valor que reportan (Iloeje et al., 1980, 1981; Falconer, 1981; Leukkunen, 1985); sin embargo, se encuentra dentro de los rangos

publicados por Sikka (1950) y Mahadevan (1951). Los valores para la tasa de incremento después del parto (b), resultaron valores cercanos a cero, sugiriendo presencia de variación de una lactancia a la siguiente explicada por efectos ambientales temporales; sin embargo, es importante señalar el número limitado de observaciones en este estudio.

En cuanto al rendimiento máximo, los valores $.69 \pm .073$ para la solución no-lineal fueron similares a lo encontrado por Sikka (1950) y ligeramente superiores a los valores de Johansson, en Johansson (1961), Mahadevan (1951), Gill et al. (1971), y para Schmidt y Van Vleck (1974).

Cuadro 9. Índice de constancia para los componentes y características de la curva de lactancia.

Procedimiento de solución no-lineal

Variable	t^2	E.E.
Producción real	.67	.073
A	.26	.128
b	.14	.149
c	.29	.138
Pers	.14	.140
b/c	.04	.143
Rendimiento máximo	.69	.073
Prod. Ajustada 305d	.66	.074

PReal =Producción real por lactancia

A =Producción al inicio de la lactancia

b = Tasa de incremento de la producción, hasta un máximo

c = Tasa de declinación a partir de un máximo

Pers = Persistencia estimada a partir de la ecuación de Wood

b/c = Punto de máximo rendimiento

RMax =Rendimiento máximo

P305d = Producción ajustada a 305 días

4.7.2. Índice de herencia

El Cuadro 10 muestra los índices de herencia y las estimaciones de las correlaciones genéticas y fenotípicas para las producciones real y ajustada a 305 días, rendimiento máximo, persistencia, punto de inflexión (b/c) y parámetros obtenidos del procedimiento de solución no-lineal al modelo de Wood. Las estimaciones de heredabilidad para los parámetros de la curva de lactancia variaron de $.34 \pm .28$ a $.50 \pm .33$.

Utilizando la solución no-lineal, los valores de heredabilidad fueron ligeramente superiores con respecto a la solución ponderada, con un coeficiente de determinación del 95.18 % y cuadrado medio del error de 6.50. En general, los valores de heredabilidad fueron superiores que los reportados por Batra et al.(1987), Shanks et al.(1981), y Schneeberger (1981). La magnitud de los valores de heredabilidad encontrada para los parámetros de la curva sugiere la existencia de un potencial para lograr cambios en la forma de la curva a través de selección.

Con respecto al rendimiento total por lactancia y ajustado a 305 días, los valores de heredabilidad fueron ($h^2 = .21 \pm .29$ y $h^2 = .19 \pm .22$) por cada método de solución. Como se puede observar, los errores estándar son de magnitud similar ó ligeramente superiores a la estimación del parámetro genético, lo cuál indica poca precisión en la utilización de éste en la estimación del valor reproductivo del animal, y en particular en la utilización del cálculo del progreso genético en la población original, si se considera el criterio producción de leche; sin embargo, se tiene poco trabajo desarrollado en esta área, lo cual hace posible utilizar estos valores con reservas en un programa de mejora genética.

Steine (1976) menciona la dificultad de comparar los resultados encontrados en cabras con aquellos en ganado lechero debido a las diferencias en registros y en ambientes, sin embargo los valores son similares; no obstante Auran (1976) y Steine (1976) indican un valor de h^2 mas alto en cabras que en ganado lechero. En este trabajo, los valores de heredabilidad para la producción real fueron similares para aquellos reportados por Smith y Legates (1962), Rosales et al. (1983), Lara et al. (1989), un poco menores que los de Steine (1976) y Batra et al. (1987) en ganado lechero, inferiores a los reportes de Ronningen (1967), Iloeje et al. (1981), y dentro del rango sugerido por Iloeje y Van Vleck (1977), Ricordeau (1979), y Valencia y Montaldo (1991).

Los valores obtenidos como producto de la aplicación de los estimadores de los parámetros de la curva de Wood para cada procedimiento: Rendimiento máximo, punto de inflexión y persistencia (Pers), mostraron valores de heredabilidad un poco superiores para rendimiento máximo con respecto a las estimaciones de Schmidt y Van Vleck (1974), Wilcox (1978), Warwick y Legates (1980) pero similar a Sikka (1950), y Gill et al. (1971). La persistencia, fue similar al reporte de Sikka (1950), Batra et al. (1987) pero inferior al valor encontrado por Smith y Legates (1962).

Cuadro 10. Estimaciones de heredabilidad (diagonal), su error estándar (abajo del estimador de h^2), correlaciones genéticas (abajo de la diagonal) y fenotípicas (arriba de la diagonal) para los componentes y características de la curva de lactancia. Procedimiento no-lineal.

	Ltot	A	b	c	Pers	b/c	Rmax	P305
Ltot	.21 (.29)	.59	-.17	-.58	.59	.38	.86	.98
A		.39 (.31)	-.63	-.41	-.61	-.62	.76	.60
B	-.33		.50 (.33)	.80	.83	.84	.10	-.26
C	-.17	.27	.91	.34 (.28)	-.32	.43	.19	-.57
Pers			.52	.37	.24 (.29)	.94	.22	.66
b/c		-.56	.61	.42			.13	.38
Rmax		.89	.20	.27	.12		.33 (.28)	.86
P305	.98		-.31	-.41				.19 (.22)

4.7.3. Correlaciones genéticas y fenotípicas

Algunas características no son independientes, el conocimiento de la dirección y el grado de asociación es de gran importancia en el diseño de planes de selección eficientes; sin embargo los valores pueden estar sesgados debido a efectos ambientales comunes (Cunningham, 1969).

La correlación genética es la asociación entre valores reproductivos ó valores genéticos aditivos para dos características medidas en el mismo individuo, y su existencia puede deberse al ligamiento de los genes ó debido a la acción pleiotrópica ó efecto conjunto de los mismos. Las correlaciones genéticas y fenotípicas obtenidas por cada procedimiento de solución al modelo de Wood, se presentan en el Cuadro 10.

La producción inicial mostro una correlación antagónica (tanto genética como fenotípica bajo el modelo no-lineal y solo fenotípica para los restantes) con b , lo cual implica que al seleccionar para un incremento en el parámetro de escala ó producción inicial A , podría resultar en una más tasa baja de incremento b , antes de alcanzar el máximo rendimiento. Correlaciones positivas entre la pendiente positiva (b) y tasa de decremento (c), fenotípica como genética, sugiere que animales con una tasa rápida de incremento al pico de ésta, tendrán además una tasa rápida en decremento post-pico. Resultados similares son reportados por (Schneeberger, 1981, Shanks et al., 1981, y Batra et al., 1987).

Genéticamente el rendimiento inicial A está positivamente correlacionado con el rendimiento máximo, en una relación antagónica con el valor de persistencia y el punto de inflexión. No se estimó el grado de asociación genética entre rendimiento real y

ajustado a 305-d. Estos resultados sugieren que animales con una mayor producción inicial, tenderán a mostrar un mayor rendimiento máximo, con menores persistencias y alcanzaran el rendimiento máximo en etapas de lactancia iniciales. Correlaciones fenotípicas y genéticas positivas entre tasa de incremento al punto de máximo rendimiento con el rendimiento máximo, punto de inflexión y persistencia implica que cabras con pendientes positivas mas pronunciadas tendrán rendimientos máximos mayores, mayor persistencia y alcanzarán el punto de inflexión en un estado tardío de lactancia; sin embargo, los valores reportados son bajos (alrededor del 20%).

Correlaciones positivas entre el rendimiento a 305-d y rendimiento máximo, persistencia y punto de inflexión; no obstante con valores más bajos para este último, sugiere que aquellas cabras con la producción más alta, tendrán un rendimiento máximo más alto, mayor persistencia y presentación en un tiempo un poco mayor del punto de inflexión. El punto de inflexión ó tiempo en alcanzar el máximo rendimiento, mostró correlaciones ligeramente positivas con el rendimiento máximo; no obstante altas con la persistencia, indicando esto que animales con un mayor rendimiento máximo y persistencia permitirá alcanzar el rendimiento máximo hacia la semana quince post-parto e inclusive un poco más tarde.

La definición de un programa de selección para incrementar el rendimiento máximo puede estar asociado con un incremento tanto en b como en c.

Relaciones positivas del rendimiento lechero a los 305-d con la producción inicial, rendimiento máximo y persistencia sugiere que cabras con mayor producción a

los 305-d tendrán a su vez mayor valor para producción inicial, rendimiento máximo más alto y mayor persistencia, con una presentación tardía del punto de inflexión.

4.7.4. Persistencia

Persistencia es una medida del mantenimiento de la producción después de alcanzado el punto de producción máxima. Smith y Legates (1962), definieron persistencia como una razón de la producción de los últimos 215 días a la producción de los primeros 90 días de un total de 305 días considerados. La medición del rendimiento máximo se logra registrando los rendimientos durante las primeras semanas o meses. La medida de la persistencia, o tasa de declinación en la producción después del punto de rendimiento máximo, involucra la aplicación de algunas ecuaciones, aplicadas en este trabajo.

Para estimar (Pers), se empleó la ecuación de Wood (1970). Destaca el estudio de persistencia por las siguientes razones: a) para la distribución de la alimentación por nivel de producción de acuerdo al registro del mes anterior, b) animales con alto rendimiento inicial son predisponentes a tener desordenes metabólicos siendo más factible lograr rendimientos iniciales moderados con una alta persistencia y c) es importante su conocimiento en pruebas de alimentación para que las diferencias existentes entre los animales sean ajustadas y evitar la confusión entre persistencia y efecto de los tratamientos.

En general, animales de mayor edad son menos persistentes en su lactancia (Shanks et al., 1981; Schneeberger, 1981; Leukkunen, 1985). Al analizar ésta por tipo de parto, se observó que hembras presentando partos triples, presentaban menor

persistencia y diferencian en su valor ($P < .05$) con respecto a la persistencia en hembras de partos sencillos y gemelares. En este estudio, se evidencian diferencias entre valores de las persistencias por efecto de las condiciones ambientales mes y año de parto.

Los componentes principales de la forma de la curva que muestran relación con la producción total por lactancia son producción inicial, rendimiento máximo y persistencia; de los tres componentes, la persistencia es la que presenta más dificultad para su medición. Así, al utilizar más formas para estimarla con mayor precisión, éstas pueden ser comparadas y evaluadas a través de la estimación de repetibilidad y heredabilidad.

Los valores de heredabilidad reportados independientemente del procedimiento de solución al modelo original, fueron moderados en la derivación de la aplicación de los estimadores del modelo (Cuadros 9 y 10), similar a los hallazgos de (Sikka, 1950, Smith y Legates, 1962, y Everett, 1977). No obstante superiores que las estimaciones para vacas de primer parto (Danell y Eriksson, 1981). Los altos valores de heredabilidad encontrados para persistencia, se explica por la existencia de covariables genético-ambientales no detectadas por el modelo (Madsen, 1975).

Las correlaciones genéticas entre la medición de persistencia con el rendimiento total y ajustado a 305-d, muestra que la selección por rendimiento total ó ajustado a 305-d, puede cambiar la tasa de decremento absoluto durante la lactancia. Esto sugiere que la persistencia puede ser mejorada al ser incluida en programas de mejoramiento genético. Wood (1968) señala que cabras más persistentes presentan la

ventaja de que sus requerimientos de alimento concentrado son menores, lo cual sugiere que pueden hacer uso de mayor cantidad de forraje y por ello, su necesidad de suplemento en base de concentrados, ser menor.

Cuadro 11. Estimaciones de varianzas y covarianzas genotípicas y fenotípicas para los componentes y características de la curva de lactancia en cabras.

	Ltot	A	b	c	Pers	Rmax
Ltot	3054.143 (14543.54)	0	-2.5675	-.1643	0 (25.0669)	0 (66.4697)
A		.1615 (.4141)			0	.1317
b			.0198 (.0396)		.1264	.0104
c				.0003 (.0009)	.0011	.0017
Pers					.0298 (.1241)	.0076 (.4667)
Rmax						.1356 (.4108)

En la diagonal se presentan varianzas y fuera de la diagonal covarianzas
 Los valores entre paréntesis corresponden a varianzas y covarianzas fenotípicas
 Datos faltantes no fueron estimables

4.8. Construcción de índices de selección

Se construyeron siete índices de selección (I_i) considerando la producción total de leche (L_{tot}), el rendimiento máximo (R_{max}) y la persistencia ($Pers$), en la estimación del valor reproductivo para encontrar el criterio que permitiera maximizar su correlación con el valor genético-económico total (H), donde H una función lineal de componentes genéticos aditivos para L_{tot} , los parámetros de la curva de lactancia, R_{max} y $Pers$, con igual ponderación económica ($a = 1$).

La eficiencia del criterio de selección fue evaluada por correlación (r_{HI}), además se estimaron los cambios genéticos esperados por generación de selección para cada característica analizada y la ganancia total en H considerando una intensidad de selección de una desviación estándar arriba de la media.

Las correlaciones (r_{HI}) entre el mérito neto y el índice, para los siete índices contruidos se muestran en el cuadro 12 donde, el valor de la correlación ($r = 0.88$) corresponde al Índice (I) y el valor genotípico agregado (H) en el índice que consideró L_{tot} y R_{max} ($I_2 = -127.70 R_{Max} + 0.79 L_{tot}$), siendo superior 57% y 63%, a los índices que contemplaron L_{tot} y $Pers$ (I_4) y L_{tot} , R_{max} y $Pers$ (I_1), que mostraron valores de correlación ($r = 0.56$ y $r = 0.54$), respectivamente, mientras que el resto de los índices contruidos mostraron valores de eficiencia menor al 50%.

Las ganancias esperadas en el mérito neto (Δ_H) se pueden observar en el cuadro 13, para cada una de las características consideradas en la construcción del índice.

El cambio genético en Ltot cuando se considera conjuntamente con Rmax dentro de un índice son de 94.7 % al compararse con el cambio genético alcanzado al considerar únicamente Ltot en la estimación del mérito genético aditivo-económico total en los animales.

Cuadro 12. Índices de Selección y eficiencia en la estimación del genotipo agregado (r_{HI}).

Índice	Caracteres incluidos	r_{HI}
$I_1 =$	$-6.13 RMax + 0.30 LTot - 34.03 Pers$	0.5424
$I_2 =$	$-127.70 RMax + 0.79 LTot$	0.8842
$I_3 =$	$0.24 RMax + 0.38 Pers$	0.0065
$I_4 =$	$0.32 LTot - .6296 Pers$	0.5613
$I_5 =$	$0.70 RMax$	0.0081
$I_6 =$	$0.21 LTot$	0.4582
$I_7 =$	$0.33 Pers$	0.0042

I_i = Índices de Selección

RMax = Rendimiento Máximo

Ltot = Producción total de leche

Pers = Persistencia

El índice que consideró además de Ltot, Rmax resultó ser el de mejor respuesta en H después de una generación de selección ($\Delta_H = 74.27$) con respecto a aquel que solo incluyó dentro de la función lineal fenotípica el componente Ltot ($\Delta_H = 38.49$). El índice que incorporo como componente Ltot y Persistencia (I_4) produjo un valor de asociación con H del 56.14% produciendo cambios significativos en la variable Ltot, con cambios casi nulos en RMax y persistencia, arrojando un valor de progreso total en H del 47.15 kg reflejando una disminución en el progreso genético del orden del 36.5% en el caso que el índice incluyeran solo Ltot y RMax.

La ganancia esperada en mérito neto (Δ_H) y la correlación entre el mérito neto y el valor del índice (r_{IH}) con frecuencia utilizados en evaluar la eficiencia de los índices en la mejora de la eficiencia bio-económica. En este estudio L_{tot} y R_{Max} fueron incluidos como una combinación lineal en la construcción de un índice, que resultó la mas efectiva en mejorar el mérito neto. El resto de las demás combinaciones resultaron en una baja eficiencia.

Cuadro 13. Progreso genético-económico para cada característica y total en el valor agregado (Δ_H)

Indice	Progreso para cada característica						Δ_H
	RMax	LTot	Pers	A	b	c	
I ₁	-.55	45.98	-.05	-.04	-.26	-.005	45.56
I ₂	-.54	75.48	-.03	-.52	-.11	-.01	74.27
I ₃	.15	.00	.06	.13	.21	.004	.55
I ₄	-.02	47.70	-.09	.00	-.43	-.006	47.15
I ₅	.32	.00	.02	.31	.03	.004	.68
I ₆	.00	38.52	.00	.00	-.03	-.002	38.49
I ₇	.03	.00	.10	.00	.41	.004	.36

RMax = Rendimiento máximo

A = Factor de escala, representando el inicio de la lactancia

b = Tasa de incremento al pico de producción

c = Tasa de descenso

Ltot = Producción total de leche

Pers = Persistencia

V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente experimento y bajo las condiciones particulares de estudio nos permitió llegar a las siguientes conclusiones.

El rendimiento de leche total promedio por lactancia, para cabras apareadas a machos Nubia fue de 392.028 ± 14 kg, en un promedio de 211 días, hace que esta población se sitúe sobre el promedio nacional, pero por debajo del registro para razas caprinas especializadas en producción de leche.

Los valores del coeficiente de determinación ($R^2 = .952$) y cuadrado medio del error ($\sigma^2_e = 6.504$) para el procedimiento de solución no-lineal resultaron con mejor ajuste al modelo de Wood.

El punto de máximo rendimiento se alcanzó en promedio a la quinta semana, de aplicar el procedimiento no-lineal. El rendimiento máximo alcanzado fue de 2.574 kg.

El rendimiento real de producción de leche durante las primeras 10 semanas, fue subestimado bajo el procedimiento no-lineal. En general se observó una sobreestimación en el primer tercio y una subestimación hacia el último tercio de lactancia al emplear la solución no-lineal.

Existen efectos importantes del número y mes de parto sobre los valores de rendimiento (PReal, P305, A, Rmax). Efectos de interacción año por mes de parto fueron importantes para valores del coeficiente c del modelo de Wood y la estimación de persistencia, lo cuál señala que el descenso en la curva de lactancia está

determinado por condiciones climáticas, además del manejo, en particular, de aspectos de nutrición.

Se aprecia un efecto del padre del animal sobre la tasa de incremento (b) y de descenso (c) en la producción.

En la obtención de los estimadores a través de la aplicación del procedimiento no-lineal, se observaron efectos importantes del año de parto sobre los valores A, b, c y de mês de parto sobre Pers, PReal, RMax y P305d.

En general se presentaron valores altos para la repetibilidad, sugiriendo influencias de efectos ambientales permanentes importantes. Los valores para la tasa de incremento después del parto (b), resultó en valores cercanos a cero, sugiriendo presencia de variación de una lactancia a la siguiente explicada por efectos temporales, mientras que para rendimiento máximo, los valores oscilaron alrededor de $.68 \pm .075$.

Las estimaciones de heredabilidad para los parámetros de la curva de lactancia variaron de $.34 \pm .28$ a $.50 \pm .33$. Para rendimiento total por lactancia y ajustado a 305 días, los valores de heredabilidad fueron de $.21 \pm .29$ y $.19 \pm .22$.

Las correlaciones genéticas y fenotípicas positivas entre el rendimiento a 305 días y el rendimiento máximo, persistencia y punto de inflexión, aunque con valores bajos para este último, indican que cabras con una alta producción, tendrán más alto rendimiento máximo, mayor persistencia y alcanzan el punto de inflexión en mayor tiempo. Valores para ambas correlaciones entre las características de la curva y producción de leche a los 305 días indican que al seleccionar para incrementar esta

última puede resultar en un incremento en el rendimiento máximo, una mayor persistencia y una presentación tardía del punto de inflexión (b/c).

La aplicación de la teoría del índice de selección teóricamente se esperaría producir el mayor progreso genético-económico en el mérito neto de una población en menos tiempo. Los índices que incorporaron L_{tot} y R_{Max} produjeron la mayor ganancia en el valor genético agregado, esto sugiere la posibilidad de obtener una mejora substancial en los parámetros de la curva hacia la forma deseada.

LITERATURA CITADA

- Agraz, G.A. 1984. Caprinotecnia I. Ed. LIMUSA, México, D.F.
- Alderson, A., y E.J. Pollak. 1980. Age-season adjustment factors for milk and fat of dairy goats. J. Dairy Sci. 63: 148.
- Akbar, M.K., N.R. Gyles and C.J. Brown. 1986. Theory and Applications of Selection Indices for the Improvement of modern Poultry Stocks. Arkansas Agric. Exp. Sta. Bull. 888.
- Arbiza, A.S. 1986. Producción de caprinos. Ed. AGT, S.A. México, D.F.
- Aréchiga, C.F.; Aguilera, J.I.; Rincón, R.M.; Méndez de Lara, S.; Bañuelos, V.R.; Meza-Herrera, C.A. 2008. Situación actual y perspectivas de la producción caprina ante el reto de la globalización. Tropical and Subtropical Agroecosystems, Vol. 9, Núm. 1,. Universidad Autónoma de Yucatán México.
- Auran, T. 1976. Studies on monthly and cumulative monthly milk yield records. III. Estimates of genetic and phenotypic parameters. Acta Agric. Scan. 26:3.
- Barreras, S.A. 1985. Predicción de lactancias completas en base a lactancias parciales y curvas de producción en ganado Holstein. Tesis Profesional. Dpto. de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Edo. de México.
- Barreras, S.A. 1993. Aspectos Genéticos y Fenotípicos de la forma de la Curva de Lactancia en Cabras. Tesis de Maestria en Ciencias. Dpto. de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Edo. de México.
- Bath, D.L., F.N. Dickinson, H.A. Tuckey, y R.D. Appleman. 1982. Ganado Lechero: Principios, Prácticas, Problemas y Beneficios. Traducción de la 2a. edición en inglés por Agustín Cotín Sans. Edit Interamericana. México, D.F.

- Batra, T.R., C.Y. Lin, A.J. McAllister, A.J. Lee, G.L. Roy, J.A. Vesely, J.M. Wauthy, y K.A. Winter. 1987. Multitrait estimation of genetic parameters of lactation curves in holstein heifers. J.Dairy Sci. 70:2105.
- Becker, W.A. 1984. Manual of Quantitative Genetics. (4th Ed.). Washington State Univ., Pullman.
- Bouillon, J., y G. Ricordeau. 1976. Parameters genetiques des performances de croissance et de production laitiere chez les caprins en station de testage. Estimation des responses directes ou indirectes a la selection. Ann. Genet. Selec. Anim. 8:109.
- Broster, W.H., y H. Swon. 1983. Estrategia de Alimentación para vacas lecheras de alta producción. Trad. de la edición del inglés por Ruy Orcasberro. Edit. AGT. México, D.F.
- Butcher, D.F., y A.E. Freeman. 1968. Heritabilities and repeatabilities of milk and fat production by lactations. J. Dairy Sci. 51:1387.
- Butcher, D.F., y A.E. Freeman. 1969. Estimation of heritability and repeatability of milk and milk fat production with selection effects removed. J. Dairy Sci. 52:1259.
- Buxade, C. y Falagan A. 1996. Sistemas de producción en el ganado caprino de leche. En: Producción Caprina. Ediciones Mundi Prensa.p 115-130
- Cabello, F.E., M.H. Andrade, y V.J.L. Olmos. 1992. La productividad de la cabra de la raza Nubia, mantenida en clima semiárido y sistema semi-intensivo. En Memorias de la VIII Reunión Nacional de Caprinocultura. Oaxaca, Oax.:134.

- Cantú, R.E., Colín, N.M., Contreras, M., García, J. 1989. Estudios sobre la estacionalidad reproductiva de los machos caprinos de las razas Saanen y Alpina. En: Memorias de la V Reunión Nacional sobre Caprinocultura. Zacatecas, México. p.67.
- Cochran, W. G. 1951. Improvement by means of selection, in Proc. 2nd Berkeley Symp.Math. Stat. Prob., 449.
- Cobby, J.M., and Y.C.P. Le Du. 1978. On fitting curves of lactation data. Anim. Prod. 26:127.
- Congleton, W.R., y K.W. Everett. 1980. Application of the incomplete gamma function to predict cumulative milk production. J. Dairy Sci. 63:109.
- Cruz, P.E., S.P. Martínez, y J.G. Ríos. 1985. Producción de leche en cabras Nubio x Criollo, Alpino x Criollo y Criollo en estabulación. Rev. Prod. Anim. en Zonas Áridas y semiáridas 4:19.
- Cunningham, E.P. 1969. Animal Breeding Theory. Inst. of Animal Genetics and Breeding Agric. Coll. of Norway. Vollebekk, Oslo. pp 149-160.
- Danell, B. 1982. Studies on lactation yield and individual test day yields of Swedish dairy cows. III. Persistency of milk yield and its correlation with lactation yield. Acta Agric. Scand. 32:93.
- Danell, B., y J.A. Eriksson. 1981. The direct sire comparison method for ranking of sires for milk production in the Swedish dairy cattle population. Acta Agric. Scand. 32: 73.
- De Alba, J. 1970. Reproducción y Genética Animal. México. IICA. Ed La Prensa.

- Devendra, C. 1980. Milk production in goats compared to buffalo and cattle in humid tropics. J. Dairy Sci. 63: 1755.
- Devendra, C., y G. B. McLeroy. 1986. Producción de Cabras y Ovejas en los Trópicos. Ed. Manual Moderno.
- Dhanao, M.S. 1981. A note on an alternative form of the lactation model of Wood. Anim. Prod. 32:349.
- Dickerson, G.E. 1959. Techniques for research in quantitative genetics. In Am. Soc. Anim. Sci. (Ed.) Techniques and Procedures in Animal Sciences Research: 56.
- Dickinson, F.N., y G.J. King. 1977. Phenotypic parameters of dairy goat lactation records. Paper presented 72nd Annu. Meeting Amer. Dairy Sci. Ass., Ames, IA. June 27, 1977.
- Everett, R.W. 1977. Persistency. Cooperative Extension -New York State-Cornell University, Ithaca, N.Y. Mimeo.
- Falconer, D.S. 1981. Introduction to Quantitative Genetics. (2nd Ed.). Longman, Inc., New York.
- Falconer, D. S. 1986. Introducción a la Genética Cuantitativa. F. Márquez S. (trad.). CECSA. México. 383 p.
- Ferris, T.A., I.L. Mao, y C.R. Yerson. 1985. Selecting for lactation curve and milk yield in dairy cattle. J. Dairy Sci. 68:1438.
- France, J. y J.H.M. Thornley. 1984. Mathematical Models in Agriculture. Butterworth & Co Publ. Ltd. Engly.
- Freeman, A.E. 1976. Dairy Industry Section. An. Sci. 653. Iowa St. Univ. Mimeo.

- Gaines, W.L. 1927. Persistency of lactation in dairy cows. Bull. of the Illinois Agric. Exp. Sta. 288:355.
- García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. (2da Ed.). UNAM, México.
- García, O., J. Castillo, y C. Gado. 1972. Situación actual de la ganadería caprina en Venezuela. Agron. Trop. 22:239.
- Geerts, H.A. 1975. Is milk production improving ?. Dairy Goat J. 53:9.
- Geldermann, H. 1975. Investigations on inheritance of quantitative characters in animals by gene markers. I. Methods. Theoretical and Applied Genetics 46:319.
- Gill, G.S., D.S. Balaine, y R.M. Acharya. 1971. Persistency and peak yield in Hariana cattle. Phenotypic and genetic parameters. Indian J. Anim. Sci. 41:215.
- Gipson, T.A., y M. Grossman. 1989. Diphasic analysis of lactation curves in dairy goats. J. Dairy Sci. 72:1035.
- Gipson, T.A., y M. Grossman. 1990. Lactation curves in dairy goats: a review. Small Rumin. Res. 3:383.
- Grossman, M., y G.R. Wiggans. 1980. Dairy goats lactation records and potencial for buck evaluation. J. Dairy Sci. 63:1925.
- Grossman, M., A.L. Kuck, y H.W. Norton. 1986. Lactation curve of purebred and crossbred dairy cattle. J. Dairy Sci. 69:195.
- Harvey, W.R. 1988. User's guide for Mixed Model Least-squares and Maximum Likelihood Computer Program. (Mimeo).
- Hazel, L.N. 1943. Genetic basis for selection indices. Genetics 28:476.

- Hazel, L.N., y J.L. Lush. 1942. The efficiency of three methods of selection. J. of Heredity 33:393.
- Heidhues, T.H. 1962. Accuracy of the selection index method in samples from populations with unknown parameters. Diss. Abst. 22:3820.
- Henderson, C.R. 1963. Selection index and expected genetic advance. In: W.D. Hanson y H.F. Robinson (Ed.) Proc. Symposium on Statistical Genetics and Plant Breeding. National Academy of Sciences-National Research Council, Washington, D.C. Pub. 982.
- Henderson, C.R. 1973. Sire evaluation and genetic trends. Proc. Anim. Breed. Genet. Symp. in honor of Dr. Jay L. Lush. Amer. Soc. Anim. Sci. and Amer. Dairy Sci. Assoc.
- Henderson, C.R. 1974. General flexibility of linear models techniques for sire evaluation. J. Dairy Sci. 57:963.
- Henderson, C.R., y R.L. Quaas. 1976. Multiple trait evaluation using relative's records. J. Anim. Sci. 43: 1188.
- Iloeje, M.U., y L.D. Van Vleck. 1978. Genetic of dairy goat: a review. J. Dairy Sci. 61:1521.
- Iloeje, M.U., L.D. Van Vleck, y G.R. Wiggans. 1981. Components of variance for milk and fat yields in dairy goats. J. Dairy Sci. 64:2290.
- Iloeje, M.U., T.R. Rounsaville, R.E. McDowell, G.R. Wiggans, y L.D. Van Vleck. 1980. Age-season adjustment factors for Alpine, La Mancha, Nubian and Toggenburg dairy goats. J. Dairy Sci. 63:1309.

- INEGI, 2007. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal.[on line]
http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados_Agricola/default.aspx.
- Jacquard, A. 1983. Heritability: one Word, three concepts. Biometrics, Arlington, v.39, n.2,p.465-477.
- Johansson, I. 1961. Genetic aspects of Dairy cattle Breeding. Univ. of Ill. Press. U.S.A.
- Johansson, I., y J. Rendel. 1972. Genética y Mejora animal. Trad. de la ed. sueca por Francisco Puchal y Pedro Ducor Maluenda. Edit. Acribia, Zaragoza, España.
- Kellogg, D.W., N.S. Urquhart, y A.J. Ortega. 1977. Estimating holstein lactation curves with a gamma curve. J. Dairy Sci. 60:1308.
- Kennedy, B.W. 1984. Genetics of milk y type. Extension Goat Hybook. Fact Sheet D-1:5 pp.
- Kennedy, B.W., C.M. Finley, E.J. Pollak, y G.E. Bradford. 1981. Joint effects of parity, age, and season of kidding on milk and fat yields in dairy goats. J. Dairy Sci. 64:1707.
- Knowles,F., y J.E. Watkins.1938. The milk of the goat under English conditions. J. Dairy Res. 9:153.
- Lara, B.A., R. Nuñez D., O. Martínez H. 1989. Selección en vacas Holstein para producción diaria de leche interparto. Chapingo Nos. 65-66:24.
- Leukkunen, A. 1985. Genetic parameters for the persistency of milk yield in the Finnish Ayrshire cattle. Z. Tierzüchtg. ZüchtgsBiol. 102:117.
- Lin, C.Y. 1978. Index selection for genetic improvement of quantitative characters. Theor. Appl. Genet. 52:49-56.

- Lobo, R. N. B. 2005. Esquemas de selección alternativos en sistemas de producción. In: Congreso Internacional Ovino y Caprino. Memorias. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2005. 6 p.
- Lush, J.L. 1945. Bases para la Selección Animal. 10ma. ed. (1965). Ediciones Agropecuarias Peri. Buenos Aires, Argentina.
- Lush, J.L. 1961. Selection indexes for dairy cattle. Z. tierz. ZüchtBiol. 75:249.
- Madalena, F.E., M.L. Martínez, y A.F. Freitas. 1979. Lactation curves of Holstein - Friesian y Holstein - Friesian x Gir cow. Anim. Prod. 29:101.
- Madrid-Bury, N., C. González-Stagnaro, y L. Figueroa. 1982. Milk production of native goats in a tropical zone. Proc. of the 3rd Inter. Conf. on Goat Production and Disease. Univ. of Arizona, Tucson, AZ :515.
- Madsen, O. 1975. A comparison of some suggested measures of persistency of milk yield in dairy cows. Anim. Prod. 20:191.
- Mahadevan, P. 1951. The effect on enviromental and heredity on lactation. I. Milk yield. J. Agr. Sci. 41:80.
- Mao, I.L. 1984. Variation in dairy cattle population: Causes and consequences. In: Proc. of the Nat. Inv. Workshop on Genetic Improvement of Dairy Cattle. Wisconsin, U.S.A.
- Marquardt, D.W. 1970. Generalized inverses, ridge regression, biased linear estimation, and nolinear estimation. Technometrics 12:591.
- Mazumder, A., y N.K. Mazumder. 1982. Milk production and its compositions in the indian Pashmina goats. Proc. of the 3rd Inter. Conf. on Goat Production and Disease. Univ. of Arizona, Tucson, AZ :529.

- Mellado, M., R.H. Foote, y E. Borrego. 1991. Lactational performance, prolificacy and relationship parity and body weight in crossbred native goats in northern Mexico. *Small Ruminant Research* 6:167.
- Mellado, M. 1997. Potencial de las zonas áridas y semiáridas para la producción de leche de cabra. En: *Memorias de la XII Reunión Nacional sobre Caprinocultura*. Torreón, Coahuila. p. 297.
- Miller, P.D. 1975. Lactation and other production curves as criteria for culling dairy cows. New Mexico Agriculture Experimental Station. Bulletin 632.
- Miller, R.H., y N.W. Hooven Jr. 1969. Factors affecting whole and part lactation milk yield and fat porcentaje in a herd of Holstein curve. *J. Dairy Sci.* 52:1588.
- Mocquot, J.C. y G. Ricordeau. 1981. Facteurs de variation et paramètres génétiques de la production laitière des chèvres en première lactation. 6a. Journées de la Recherche Ovine et Caprine. ITOVIC-SPEOC. Paris: 401.
- Molina, J. R. y C. Boschini. 1979. Ajuste de la curva de la lactancia del ganado Holstein con un modelo lineal modal. *Agron. Costarr.* 3 (2):167.
- Montaldo, V.H., G. Tapia, y A. Juárez. 1980. Producción de leche e intervalo entre partos de cabras puras, criollas y mestizas en el norte de México. En *Memorias de la XIV Reunión anual AMPA*, Saltillo, Coah.
- Montaldo, V.H., G. Tapia, y A. Juárez. 1981. Algunos factores genéticos y ambientales que influyen sobre la producción de leche y el intervalo entre partos en cabras. *Téc. Pec. Méx.* 41:32.

- Montaldo, V.H. 1980. Factores que afectan la producción de leche, el tamaño de la camada y el peso corporal en un hato de cabras del norte de México. Tesis Profesional. FMVZ-UNAM, México, D.F.
- Montaldo, V.H., A. Juárez L., y F. Sánchez y G.F. 1991. Corrección de lactancias para edad y época de parto en programas de selección de cabras en México. Vet. Méx. XXII: 3:279.
- Montaldo, V.H., P.M. Valencia, G.R. Wiggans, L. Shepard and J.A. Torres-Vázquez. 2010. Short communication: genetic and environmental relationships between milk yield and kidding interval in dairy goats. J. Dairy Sci. 93(1):370-2.
- Mory-Fher, P., y D. Sauvant. 1980. Composition and yield of goat milk as affected by nutritional manipulation. J. Dairy Sci. 63:1671.
- Mueller J. 1985. Implementacion de Planes de Mejoramiento Genético en Ovinos. I. Objetivos de Mejoramiento y Criterios de Selección. INTA Bariloche, Comunicación Técnica Nro. 6. Área Producción Animal.
- Neter, J., y W. Wasserman. 1974. Applied linear Statistical Models. Regression, Analysis of Variance, and Experimental Designs. Richard D. Irwin, Inc. Homewood, Illinois.
- Pelissier, C.L. 1964. Make production records work for you. U. Cal. Agric. Ext. Serv. Publ. AXT-102.
- Peña, G.J. 1986. Determinación de la curva de lactancia en cabras semiestabuladas. Tesis profesional. FA-UANL, Marín, N.L.

- Peña, B.F., V. J. Vega R.M. Sánchez, P.J. Martos , M.A. García y G.V. Domenech. 1999. Producción Láctea y Ajuste de la Curva de Lactación en Caprinos de Raza Florida. *Arch. Zootec.* 48: 415-424.
- Pirchner, F. 1983. Population Genetics in Animal Breeding. 2nd. edition. Plenum Press, New york, U.S.A.
- Prakash, C. y R.S. Kanna. 1972. Effect of order of lactation and lactation length on milk production in a closed herd of Beetal goats. *Indian J. Anim. Prod.* 2:10.
- Rae, A.L. 1982. Breeding. In World Animal -Science, C.J. 1982. Sheep and Goat Production. Elsevier Scientific Pub. Co. New York :15.
- Ricordeau, G. 1979. Amelioration Genetique des Caprins. Station D'Amelioration Genetique des Animaux. I.N.R.A., Castanet-Tolosan, France.
- Riquelme, V.E. 1982. Principios básicos de nutrición aplicada. En: Pérez, D. M. 1982. Manual sobre el Ganado Productor de Leche. Ed. Diana. México.
- Ronningen, K. 1967. A study of genetic parameters for milk characteristics in goats. Rep. No. 232, Inst. Anim. Genet. y Breed. Agric. College of Norway , Vollebakk, Norway. *Meldinger fra Norges Lybrukshogskole* 46, No. 2, 17pp
- Rosales, A.J., M. Montaña B. y A. Juárez L. 1983. Estimación de índices de herencia en cabras. *Memorias de la reunión de Investigación Pecuaria en México.* México, D.F.:158.
- Rowlands, G.J., Lucey, S. & Russell, A.M., 1982. A comparison of different models of the lactation curve in dairy cattle. *Anim. Prod.* 35, 135-144.

- SAGARPA, 2010. Consejo Nacional de los Recursos Genéticos Pecuarios. [Online] http://www.conargen.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=14:programa-nacional-de-recursos-geneticos-pecuarios-pnrgp&catid=6:documentos-normativos&Itemid=18
- Sánchez, D.F. 1990. Factores ambientales y genéticos que influyen sobre la producción de leche en un hato lechero del noreste de México. *Ciencia Agropecuaria* 3(1):31.
- SAS. 1998. SAS/STAT User's Guide (Release 9.0). SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- Sauvant, D., P.M. Fehr. 1975. Classification des types de courbes de lactation et d'évolution de la composition du lait de la chèvre. *Ieres journées de la Recherche ovine et caprine*, Paris:90.
- Schaeffer, L.R. 1979. Notes on Linear Model Theory and Henderson's Mixed Model techniques. Univ. of Guelph. Ontario, Canada.
- Schaeffer, L.R., y E.B. Burnside. 1976. Estimating the shape of the lactation curve. *Can. J. Anim. Sci.* 56: 157.
- Schaeffer, L.R., y J.W. Wilton. 1974. Comparison of the effectiveness of multiplicative and additive adjustment factors in preweaning average daily gain of beef cattle. *Can J. Anim. Sci.* 54:519.
- Schmidt, G.H. 1971. *Biología de la Lactancia*. Traducción por Justino Burgos González. Edit. Acribia. Zaragoza, España.
- Schmidt, G.H., y L.D. Van Vleck. 1974. *Bases Científicas de la Producción de Leche*. Traducido del inglés por Pedro Ducar Maluenda. Edit. Acribia. Zaragoza, España.
- Schneeberger, M. 1981. Inheritance of lactation curve in Swiss Brown cattle. *J. Dairy Sci.* 64:475.

- Shanks, R.D., P.J. Berger, A.E. Freeman, y F.N. Dickinson. 1981. Genetic aspects of lactation curves. J. Dairy Sci. 64:1852.
- Shelton, M. 1978. Reproduction and Breeding of goats. J. Dairy Sci. 61:994.
- Shimada, M. A. 1983. Fundamentos de nutrición animal. Edit. Asociación Nacional de Producción de Soya. México, D. F.
- Sikka, L.C. 1950. A study of lactation as affected by heredity and enviroment. J. Dairy Res. 17:231.
- Singh, B., y P.N. Bhat 1978. Models of lactation curves for Haryana cattle. Indian J. Anim. Sci. 48:791.
- Skjervold, H., y A.K. Odegård. 1959. Estimation of breeding value on the basis of the individual's own phenotype y ancestor's merits. Acta Agric. Scy. 9:341.
- Smith, F.H. 1936. A discriminant function for plant selection. Ann. of Eugenics 7:240.
- Smith, J.W., y J.E. Legates. 1962. Factors affecting persistency and its importance in 305-day lactation production. J. Dairy Sci. 45:676.
- Speicher, J.A., y C.E. Meadows. 1967. Milk production and costs associated with length of calving interval of Holstein cow. J. Dairy Sci. 50:976.
- Steine, T.A. 1976. Genetic and phenotypic parameters for production in goats. Meld. Nor. Lybrukshogsk 55:19.
- Steine, T.A. 1982. Principles of selection for milk production in dairy goats. In Proc. 3rd Int. Conf. Goat Prod. Dis., Tucson, AZ.
- Swanson, E.W. 1978. Heifer performance styars: Relation of rearing systems to lactation. In: Wilcox, C.J., H.H. Van Horn et al.. 1978. Large Dairy Herd Management. Univ. Press of Florida, U.S.A.

- Syrstad, O. 1974. Genetic progress for milk production in the Norwegian Red breed. *Meldinger fra Norges Lybrukshogskole* 53(14), 8 pp.
- Teh, T.H., y T.A. Gipson. 1992. The use of dairy goats for crossbreeding in the tropical environment. *Memorias de la VIII Reunión Nacional de Caprinocultura*. Oaxaca, Oax.
- Tomaszewski, M.A., y T.J. Cannon. 1993. Using records for large herd management. In *Proc. of the Western Large Herd Dairy Management Conference*. Las Vegas, Nevada:138.
- Torres-Vázquez, J.A., P.M. Valencia, J.H. Castillo and V.H. Montaldo. 2009. Genetic and phenotypic parameters of milk yield, milk composition and age at first kidding in Saanen goats from Mexico. *Livestock Cience* (126): 147-153.
- Torres-Vázquez, J.A., P.M. Valencia, J.H. Castillo y V.H. Montaldo. 2010. Tendencias genéticas y fenotípicas para características de producción y composición de la leche en cabras Saanen de México. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* (4):337-348.
- Valdez, L.M., L.J. Portillo, y V.J. Gamboa. 1988. Determinación de índices productivos y reproductivos en una granja caprina en el municipio de Culiacán, Sinaloa. *memorias del V congreso Nacional de la AZTECA*. México, D.F.:12.
- Valencia, P.M., y H. Montaldo V. 1991. Mejoramiento genético de caprinos para la producción de leche. En Pérez Ruz Y. (Ed). 1991. *Symposium de reproducción y genética en caprinos productores de leche*. Memorias FES-Cuautitlán-UNAM-AMPCAC. Cuautitlán, Edo. México. :22.

- Valencia, P.M., V.H. Montaldo, F. Sanchez, C.R. Espinosa, y S.R. Ruiz.1992. Factores que influyen sobre la producción de leche y el tamaño de la camada en hatos caprinos en pastoreo con suplementación en la región central de México. Memorias de la VIII Reunión Nacional de Caprinocultura. Oaxaca, Oax.
- Valencia, P.M., y V. H. Montaldo. 1991. Mejoramiento genético de caprinos para la producción de leche. En Pérez Ruz Y. (Ed). 1991. Symposium de reproducción y genética en caprinos productores de leche. Memorias FES-Cuautitlán-UNAM-AMPCAC. Cuautitlán, Edo. México. :22.
- Valencia, P.M., J. Dobler y V.H. Montaldo. 2007. Genetic parameters for lactation traits in a flock of Saanen goats in Mexico.
- Van Vleck, L.D. 1979. Notes on the theory and application of selection principles for the genetic improvement of animals. Cornell University. 350 p.
- Van Vleck, L.D. 1977. Theoretical and actual genetic progress in dairy cattle. Proc. of the Inter. Conf. on Quantitative Genetics. Iowa State Univ. Press:543.
- Van Vleck, L.D. 1993. Selection index and introduction to mixed model methods. Florida: C.R.C. Press Boca Raton. 481 p.
- Van Vleck, L.D., y G.E. Bradford. 1965. Comparison of heritability estimates from daughter-dam regression and paternal half-sib correlation. J. Dairy Sci. 48:1372.
- Van Vleck, L.D., E.J. Pollak and E.A.B. Oltenacu. 1987. Genetics for the animal science.W.H. Freeman, New York.
- Vega, O.P.C. 1963. Estudio preliminar de la curva de lactancia en ganado criollo. Agronomía Tropical 8(2):63.

- Warwick, E.J., y J.E. Legates. 1980. Cría y Mejora del Ganado. Traducción por Ramón Elizondo Leal. Edit. McGraw-Hill. México, D.F.
- Wiggans, G.R. 1981. Smoothed age-season adjustment factors for dairy goat lactation milk y fat records. J. Dairy Sci. 64:350.
- Wiggans, G.R. 1984. Adjustment factors for milk records. Extension Goat Hybook Fact Sheet D-4: 10 pp.
- Wiggans, G.R., F.N. Dickinson, y G.J. King. 1984. Genetic evaluation of dairy goat bucks for daughter milk and fat. J. Dairy Sci. 67:201.
- Wiggans, G.R., L.D. Van Vleck, y F.N. Dickinson. 1979. Projection factors for goat lactation records. J. Dairy Sci. 62:797.
- WILCOX, C.J. 1978. Genetic considerations of economic importance. Milk yield, composition and quality. En: Large Dairy Herd Management. Wilcox, C.J. y H.H. Van Horn Ed. Univ. Press, Florida, Gainesville. 1046 pp.
- Wilcox, C.J. 1992. Genetics: basic concepts. In: Van Horn, H.H., y C.J. Wilcox (Ed). 1992. Large Dairy Herd Management. Am. Dairy Sci. Ass
- Whittemore, C.T. 1984. Lactación de la vaca lechera. Traducido por Dora Haydenblit Mitastein. Edit. CECSA. México, D.F.
- Wood, P.D.P. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. Nature. London. 216:164.
- Wood, P.D.P. 1968. Factors affecting persistency of the lactation curve in cattle. Nature. London. 218:894.
- Wood, P.D.P. 1969. Factors affecting the shape of the lactation curve in cattle. Anim. Prod. 11:307.

Wood, P.D.P. 1970. A note on the repeatability of parameters of the lactation curve in cattle. Anim. Prod. 12:535.

Wood, P.D.P. 1972. A note on season fluctuation in milk production. Anim. Prod. 15:89.

Wood, P.D.P. 1974. A note on the estimation of total lactation yield from production on a single day. Anim. Prod. 19:393.

Yadav, M.C., B.G. Katpatal, y S.N. Kaushik. 1977. Study of lactation curve in Hariana and its Friesian crosses. Ind. J. Anim. Sci. 47:607.