

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA**  
**“GABRIEL RENE MORENO”**

Facultad de Ciencias Veterinarias

**Determinación de Curvas de Lactancia**  
**del Hato Bovino Criollo Saavedreño en**  
**Santa Cruz – Bolivia.**  
**(Provincia Obispo Santiesteban)**

Tesis de Grado presentada para  
obtener el título de:

**Medico Veterinario y**  
**Zootecnista**

por:

**Igor Rolando Rivera Zazulin**

Asesores:

MSc. Rommy Peña

PhD. Juan Antonio Pereira

**SANTA CRUZ DE LA SIERRA-BOLIVIA**  
**2006**

## INDICE

<b>I</b>	<b>RESUMEN.....</b>	<b>6</b>
<b>II</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>III</b>	<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>9</b>
3.1.1.	GANADERÍA EN EL ALTIPLANO .....	9
3.1.2.	GANADERÍA LOS VALLES .....	10
3.1.3.	GANADERÍA EN EL TRÓPICO .....	10
3.2.	LA NECESIDAD DE ESTIMAR LA PRODUCCIÓN DE LECHE ....	11
3.3.	IMPORTANCIA DE LA RAZA CRIOLLA EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN EL TRÓPICO .....	13
3.4.	LA CURVA DE LACTANCIA Y SUS CARACTERÍSTICAS .....	15
3.5.	MÉTODOS PARA ESTIMAR LA PRODUCCIÓN DE LECHE .....	18
3.6.	FACTORES QUE AFECTAN LA CURVA DE LACTANCIA Y LA PRODUCCIÓN DE LECHE .....	23
3.6.1.	FACTORES DE VARIACIÓN INTRÍNSECOS.....	23
3.6.1.1.	GENOTIPO .....	23
3.6.1.2.	NÚMERO DE LACTACIÓN.....	24
3.6.1.3.	GESTACIÓN.....	26
3.6.1.4.	ESTADO DE DESARROLLO Y RESERVAS CORPORALES .....	26
3.6.1.5.	ESTADO SANITARIO .....	26
3.6.2.	FACTORES DE VARIACIÓN EXTRÍNSECOS .....	27
3.6.2.1.	EFECTOS AMBIENTALES.....	27
3.6.2.2.	ORDEÑO .....	29
3.6.2.3.	ALIMENTACIÓN.....	30
3.6.2.4.	PERIODO SECO .....	30
3.6.2.5.	EFECTO DEL AÑO DE PARTO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LECHE .....	31
<b>IV</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>32</b>
4.1.	MATERIAL.....	32

4.1.1.	UBICACIÓN DEL ESTUDIO .....	32
4.1.2.	ESTABLECIMIENTO DE LA BASE DE DATOS.....	32
4.2.	MÉTODOS .....	33
4.2.1.	MÉTODO MATEMÁTICO.....	33
4.2.2.	MÉTODO ESTADÍSTICO .....	35
V	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
5.1.	PRODUCCIÓN DE LECHE Y PERIODO DE LACTACIÓN .....	36
5.2.	EFEECTO DEL AÑO DE PARTO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LECHE Y PERIODO DE LACTACIÓN .....	38
5.3.	EFEECTO DE LA ÉPOCA DE PARTO SOBRE EL PERIODO DE LACTACIÓN Y PRODUCCIÓN DE LECHE .....	39
5.4.	EFEECTO DEL ORDEN DE PARTO SOBRE EL PERIODO DE LACTACIÓN Y PRODUCCIÓN DE LECHE .....	41
5.5.	CARACTERIZACIÓN DE LA CURVA DE LACTANCIA .....	43
5.6.	SIMULACIÓN DE LA PRODUCCIÓN TOTAL DE LECHE .....	53
VI	CONCLUSIONES .....	55
VII	BIBLIOGRAFÍA .....	56

## LISTA DE CUADROS

1. Cuadro 1. Combinaciones genéticas caracterizadas en bovinos para leche. pp. 6.
2. Cuadro 2. Medias y desviación estándar, de la producción mensual de leche (kg), a lo largo de la lactancia según el número de lactancia, del hato de vacas Criollas del la EEAS, hasta el destete (8 meses). pp. 32.
3. Cuadro 3. Efecto del año de parto sobre la producción de leche y el periodo de lactación de vacas Criollas de la EEAS, hasta el destete (240 días), periodo 2001 – 2005. pp. 33.
4. Cuadro 4. Efecto del estación de parto sobre la producción de leche y el periodo de lactación de vacas de Criollas de la EEAS, hasta el destete (240 días), periodo 2001 – 2005. pp. 35.
5. Cuadro 5. Efecto del estación de parto sobre la producción de leche y el periodo de lactación de vacas de Criollas de la EEAS, hasta el destete (240 días), periodo 2001 – 2005. pp. 37.
6. Cuadro 6. Cuadro de coeficientes del modelo de Wood (a, b, c), y Polinomial de quinto grado ( $\alpha$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ,  $\beta_4$ ,  $\beta_5$ ) para las curvas de lactancia y coeficientes de determinación ( $r^2$ ), para Vacas Criollas de la EEAS, hasta el destete (240 días), periodo 2001 - 2005. pp. 40
7. Cuadro 7. Producción total de leche (kg) y producciones totales de leche simulada (kg) , hasta el destete (240 días), utilizando el modelo de Wood y el modelo de regresión polinómica de quinto grado, para cada uno de los seis grupos de vacas conformados. pp.49.

## LISTA DE FIGURAS

1. Figura 1. Curva de lactación modelo ajustada a 305 días. pp.12.
2. Figura 2. Efecto del año de parto sobre el periodo de lactación y producción de leche, en vacas criollas de la EEAS, periodo 2001-2005. pp. 34.
3. Figura 3. Efecto de la época de parto sobre el periodo de lactación y producción de leche, en vacas Criollas de la EEAS, periodo 2001-2005. pp. 35.
4. Figura 4. Efecto del Orden de Parto sobre el periodo de lactación y producción de leche de vacas Criollas, en la EEAS, periodo 2000-2005, según época. pp. 37.
5. Figura 5. Curvas de primera lactancia de vacas Criollas de la EEAS, periodo 2001-2005, época de verano. pp. 41
6. Figura 6. Curvas de primera lactancia de vacas Criollas de la EEAS, periodo 2001-2005, época de invierno. pp. 42
7. Figura 7. Curva de segunda lactancia de vacas Criollas de la EEAS, periodo 2001-2005, época de verano. pp. 43
8. Figura 8. Curva de segunda lactancia de vacas Criollas de la EEAS, periodo 2001-2005, época de invierno. pp. 44
9. Figura 9. Curvas de tercera o más lactancias de vacas criollas de la EEAS, periodo 2001-2005, época de verano. pp. 45
10. Figura 10. Curvas de tercera o más lactancias de vacas criollas de la EEAS, periodo 2001-2005, época de invierno. pp. 46.

**Determinación de Curvas de Lactancia del Hato  
Bovino – Criollo Saavedreño en  
Santa Cruz – Bolivia.  
(Provincia Obispo Santiesteban)<sup>1</sup>**

**Rivera, Z. I. R.<sup>2</sup>; Peña, R.<sup>3</sup>; Pereira, J. A.;<sup>4</sup>**

**Facultad de Ciencias Veterinarias. U. A. G. R. M.**

**I RESUMEN**

El propósito del estudio fue evaluar dos modelos matemáticos para determinar la curva de lactancia y estimar la producción lechera en sistemas de lechería doble propósito, en pastoreo intensivo, con la raza Criolla de la Estación Experimental Agrícola Saavedra (EEAS) denominada Criollo Saavedreño. Se utilizó una base de datos conformada por 51.293 registros de producción diaria correspondientes a 229 lactancias de vacas de la raza Criolla, desde el parto hasta el destete (240 días), de la EEAS, de los años comprendidos entre 2001 a 2005.

Se compararon dos modelos matemáticos, el polinomial de quinto grado y el modelo de Gamma Incompleta de Wood, mediante el coeficiente de determinación ( $r^2$ ), la evaluación estadística fue realizada mediante un Análisis de Varianza y la prueba de Duncan para la comparación de medias.

El estudio determinó que el promedio del periodo de lactación y producción de leche de los años 2001-2005, para el hato Criollo de la EEAS, es de  $223,9 \pm 2,2$  días y  $1079,8 \pm 23$  kg de leche por lactancia, hasta el destete, el cual se realiza a los 8 meses; siendo los coeficientes de variación 32,26% y 15,24% para dichos parámetros.

Ambos modelos presentaron un grado aceptable de confianza, siendo el modelo polinomial el que describe la curva de lactancia con mayor precisión y permite una estimación de la producción total de leche con más aproximación a la real.

Además, se analizaron los efectos de la estación, año de parto y el orden de parto sobre el periodo de lactancia y la producción de leche. El año de parto y el orden de parto afectaron significativamente ( $P < 0,05$ ) a la producción de leche y periodo de lactancia, la época de parto no afectó significativamente a dichas variables ( $P > 0,05$ ).

---

1 Tesis de grado presentado por Rivera, Z. Igor. Para obtener el título de Médico Veterinario Zootecnista.

2 Radial 23, c/ Germán Antelo # 19; Fono 342-7146-77303601, e-mail, igor\_rivera@cotas.com.bo

3 M. Sc. Zootecnista, Gerente Proyecto de Mejoramiento del Bovino Criollo. CIAT. .

4 PhD. Médico Veterinario Zootecnista. Profesor Titular Mejoramiento Genético y Jefe del Departamento de Investigación, Fac. Ciencias Veterinarias

## II INTRODUCCIÓN

Una característica común en los sistemas de producción de leche, particularmente aquellos de doble propósito, es la ausencia de registros de producción. Difícilmente podría realizarse un análisis adecuado del sistema, si no se dispone de una información precisa de las salidas de leche que tiene el sistema. En general, se asume que la información puntual de producción (observación de un día al mes p. ej.) es la producción media del hato y con esta se calcula la producción anual. Esta forma de estimación, no considera una serie de variables relacionadas con la producción de leche, entre las que se destacan: edad del animal, número de lactancias, tipo racial y mes de parto. Además, esta forma de estimación lineal de la producción no simula la fisiología de la curva de lactancia, en la cual se diferencian claramente tres fases: una fase inicial ascendente, el pico de producción y la fase de descenso gradual (Arango y Col., 2000).

Un sistema de producción de leche comprende la interacción de varios componentes, característica que hace pensar que los modelos de simulación son una opción apropiada para analizar diferentes alternativas productivas con ahorro de tiempo y dinero (Zegarra y Col; 2002).

Las curvas de producción de leche en vacas han sido ampliamente estudiadas, en climas templados, han sido pocos los estudios realizados, en condiciones tropicales especialmente a partir de los modelos propuestos por Wood (1967, 1969 y 1980) y variantes sugeridas por Goodall (1986) y Lucey y Rowland (1984), entre otros.

Distintos investigadores han intentado formas de estimar, la curva de lactación por distintos métodos, con mayor precisión y con el menor número de observaciones de la producción de la vaca lechera. En la curva de lactancia elaborada por Wood (1976)

a partir de 600.000 registros de lactancias, en vacas Frisonas inglesas, se obtuvo un coeficiente de correlación 90.7 % (Rivera, 1997). Ossa y Col., (1992), analizando 92 lactancias de vacas de un hato de doble propósito en la región del caribe, determinaron que la curva de lactancia se ajusta mejor a un modelo de regresión cuadrática que al modelo matemático descrito por Wood (1967), y que es de uso común como herramienta de predicción de producción de leche. Tovar y Varela (1989), y Ortiz (1993), eliminaron curvas de lactancia atípicas para determinar la curva de lactancia en la raza Hartón del Valle. Para predecir la producción de leche a partir de modelos, se requiere conformar vacas por nivel productivo y por duración de la lactancia, dado que se reportan lactancias mas cortas en vacas de primer parto (Ortiz, 1993; citado por Casas et al. 1997; citado por Arango y Col. 2000).

Otros investigadores realizaron un estudio en búfalas Murrah con el fin de utilizar algunos componentes de la curva de lactancia en la selección de animales, encontrando que la producción en el pico tenía una correlación genética y fenotípica alta con la producción total (Colmenares y Col., 1998).

Los modelos de estimación de la producción lechera son específicos para cada modulo productivo y determinadas condiciones de producción. Por lo tanto, se propone elaborar modelos de predicción para cada sistema productivo en particular. Un modelo de predicción de producción de leche, una vez validado se convierte en una poderosa herramienta de análisis para el estudio y la caracterización de los aspectos económicos, productivos y técnicos de un sistema productivo.

El propósito del estudio es evaluar los modelos matemáticos Polinomial y Gamma Incompleto, y de ellos, determinar el modelo matemático que mejor explica la curva de lactación de la raza Criollo Saavedreño, bajo las condiciones de producción de la EEAS

### **III REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. REALIDAD LECHERA NACIONAL Y DEPARTAMENTAL**

La población de bovinos de razas lecheras es de 335.000 cabezas de las cuales 117.000 son de raza Holstein o mestizos de cruces avanzados Holstein, Brown Swiss por Criollo; el saldo son bovinos Criollos manejados en sistemas extensivos de doble propósito. (Plan Nacional Agropecuario 2000).

La producción de leche a escala nacional es estimada en 231 millones de litros anuales de los cuales 105 millones de litros anuales son procesados y comercializados por las plantas industrializadoras y 126 millones de litros anuales son consumidos como leche cruda o queso. La producción de leche es deficitaria y la oferta nacional cubre el 40% de la demanda, los restantes 60% son donaciones e importaciones (Plan Nacional Agropecuario 2000).

##### **3.1.1. GANADERÍA EN EL ALTIPLANO**

Dentro de las razas de ganado bovino del país destacan por su contribución a la agricultura los bovinos de raza Criollo que además de aportar leche y carne, aportan fuerza de tracción en los sistemas de producción alto-andinos. Con este propósito se utilizan 419.000 bovinos Criollos y de ellos el 22% son hembras. La alimentación se basa en el uso de rastrojos de cereales el cual es complementado con forraje verde (Primer informe sobre Recursos Zoogenéticos de Bolivia, 2001).

Entre los aspectos generales de los sistemas de crianza de animales del altiplano, podemos mencionar los siguientes: Las razas de bovinos de leche adaptadas a la

región del Altiplano son las que combinan genes Criollo con Holstein y Brown Swiss con producciones medias por lactancia de 1.500 litros y representan el 80% de la población. La raza Criolla tiene menor producción lechera que el anterior y ésta es igual a 720 litros por lactancia al margen del consumo del ternero. La tendencia es a introducir genes Holstein en la raza Criolla (Primer informe sobre Recursos Zoogenéticos de Bolivia, 2001).

### **3.1.2. GANADERÍA LOS VALLES**

En estos sistemas, el promedio de tamaño del hato es de 9,8 cabezas. El 86% de productores son pequeños productores con menos de 100 litros, el 10% son productores medianos con 100 a 200 l/día, con un promedio de 20 vacas en producción y el 4% de los productores producen más de 200 l/día, y tienen hatos menores a 38 vacas (Berzain, 1999).

Hay predominio de la raza Holstein y los mestizos por cruce entre Holstein y Criollo dedicados a la producción de leche. En general se estima que el 43% son bovinos mestizos, 32% son puros por cruce y 25% son puros con registro. Se observa una mayor proporción de genes Holstein buen desarrollo de los animales como consecuencia de un mejor manejo y alimentación (Primer informe sobre Recursos Zoogenéticos de Bolivia, 2001).

### **3.1.3. GANADERÍA EN EL TRÓPICO**

Las razas de bovinos de leche más importantes en el trópico son: mestizos con genes de Holstein y Brown Swiss, Criollo y Criollo Mejorado. La monta es estacional y la inseminación artificial fue implementada en pocos establecimientos. La infraestructura es aún deficiente y la atención sanitaria no es adecuada. La producción

de leche: 600l/vaca/lactancia (Primer informe sobre Recursos Zoogenéticos de Bolivia, 2001).

De acuerdo al comportamiento de los productos pecuarios en la economía nacional, las razas de mayor importancia en la producción lechera son: Holstein, Brown Suiss, Jérsy, así como los mestizos entre el Criollo y estas razas europeas (Primer informe sobre Recursos Zoogenéticos de Bolivia, 2001).

**Cuadro N° 1. Combinaciones genéticas caracterizadas en bovinos para leche**

Raza	Holstein	Brown Suiss	Jérsy	Gyr Lechero	Criollo	Simental
Holstein	100					
Brown Suiss	50/50	100				
Jérsy	50/50	50/50	100			
Gyr Lechero	50/50	50/50	50/50	100		
Criollo	50/50 75/25	50/50 75/25 87.5/12.5	50/50	50/50	100	
Simental	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	100

Fuente: (Primer informe sobre Recursos Zoogenéticos de Bolivia, 2001).

### 3.2. LA NECESIDAD DE ESTIMAR LA PRODUCCIÓN DE LECHE

Los registros de producción son una guía indispensable para una buena explotación, haciéndose necesarios para toda selección seria y eficaz, constituyendo la base de todo programa de mejoramiento (Rojas, 1986).

El control de la producción de leche durante la lactancia es de gran importancia para el mejoramiento genético y la toma de decisiones de manejo: selección de sementales, selección y descarte de hembras, alimentación, manejo, costos y otros. También permite acumular datos para poder realizar estudios post – facto. Entre estos, el de validar métodos de cálculo de producción temprana, disminuyendo el número de observaciones, logrando un ahorro de los recursos materiales y humanos.

El cálculo de la producción de leche tiene por objeto comprobar el rendimiento lácteo en cantidad y calidad de un hato lechero. Generalmente interesa conocer la producción de todo un año o de la lactancia normal que suele ser ajustada a 305 días en casi todos los países. Otros caracteres que se consideran son la producción total y porcentaje de grasa y proteína. (Peters y Col., 1991).

Es muy importante conocer con precisión la curva de lactancia, ya que hay situaciones en donde se necesita predecir la producción acumulada por lactancia a partir de registros incompletos (Schneeberger, 1979), puesto que esto le permite al productor detectar tempranamente a las vacas de alta producción y así planificar los servicios, realizar la selección en la lactancia temprana y anticipar la planificación forrajera, según los requerimientos de los animales. Los beneficios de dicha predicción están basados en el grado de ajuste al caracterizar la curva (Congleton y Everett, 1979). Quizás el aspecto principal del conocimiento de la curva de lactancia, además de los anteriormente mencionados, es que permite mediante estrategias de mejoramiento actuar sobre la forma de la misma, para así producir leche de la manera más eficiente. Además, si los parámetros de la curva son los suficientemente heredables y su correlación genética es alta y positiva, ellos podrían ser usados en un índice de selección para obtener una ganancia genética sobre el rendimiento de leche, o para producir cambios deseables en la forma de la curva (Ferris y Col., 1983).

Otro aspecto de importancia es el uso de registros parciales para estimar la producción total por lactancia. Esto trae como consecuencia la reducción del intervalo entre generaciones y por ende, el aumento del adelanto genético anual (Campos, 1989).

### **3.3. IMPORTANCIA DE LA RAZA CRIOLLA EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN EL TRÓPICO**

La producción lechera en ambientes tropicales siempre ha causado polémica entre los investigadores debido a que las razas lecheras altamente especializadas fueron desarrolladas y son actualmente seleccionadas en ambientes templados del hemisferio norte y sur del planeta (Hernández y Col; citado por Pereira, 2005).

Bodisco y Abreu (1981) a través de una minuciosa revisión bibliográfica sobre la producción lechera de vacas Criollas en la república de Venezuela, reconocen el gran valor del ganado Criollo lechero para las regiones del continente americano, donde los factores climáticos y socio – económicos no permiten explotar animales de razas formadas en regiones templadas.

A pesar de esas dificultades varios países tropicales en América Latina, Asia y Oceanía optaron por utilizar razas europeas en cruzamientos de sobre razas originarias. Los rendimientos de leche se incrementaron no solo por la introducción de genes especializados, sino porque se introdujo el uso de alimentos concentrados (Pereira, 2005).

Wilkins y Col., (1978), demostraron la importancia del ganado Criollo en la producción de leche. Este trabajo determinó que importación de vacas de razas puras como Holstein y Brown Swiss, no era rentables para la producción lechera. Sin embargo, el ganado mestizo hasta el  $\frac{3}{4}$  de sangre europea y  $\frac{1}{4}$  criollo, presento mejor un mejor comportamiento reproductivo y productivo que las razas puras antes mencionadas (Citado por Rojas, 1992).

Por otro lado, el ganado Criollo en América Latina, desarrolló una extraordinaria adaptación al ambiente, durante siglos de selección natural, a costa de la pérdida de su productividad. Los resultados de diversos estudios en varios países de este

continente, realizados en condiciones controladas de manejo, sanidad y alimentación demuestran que el ganado Criollo puede compararse favorablemente con el ganado europeo o cebuino y aún superarlos en cuanto a fertilidad se refiere (Rojas 1992).

En la Republica Dominicana, un estudio sobre el Criollo lechero efectuado por el Centro de Investigación y Mejoramiento de Producción Animal (CIMPA), en el año 1977 en un plantel de 100 vacas Criollas, el rendimiento por lactancia fue de  $1.521 \pm 617$  Kg. en  $326 \pm 89$  días, las vacas se ordeñan con ternero al pie (Wilkins, 1983).

En los sistemas de producción intensivos de Bolivia fue notoria la adición de genes Holstein y Brown Swiss en el rebaño lechero; mientras que la incorporación creciente del Criollo mejorado en los sistemas doble propósito también contribuyó a aumentar la oferta de leche y carne al mercado nacional (Primer informe sobre Recursos Zoogenéticos de Bolivia, 2001).

En trabajos realizados en Santa Cruz sobre las vacas Criollas fundadoras del hato Criollo mejorado base de la EEAS, Rojas (1990) reporta un rendimiento de 760 kg de producción de leche por lactancia con duración promedio de 267,7 días. De la misma manera, el autor observo una producción promedio de 539 kg de leche en un periodo de 220,7 días en la primera lactación de vaquillas nacidas en la EEAS de toros Criollos bolivianos (Wilkins y Col., 1982; citado por Romero, 1998)

Con el objeto de mejorar las características productivas del bovino Criolla en la EEAS, también conocido como Criollo Saavedreño, se realizó un estudio sobre la producción de leche, en el cual se analizaron 423 lactaciones, durante los años de estudio de 1982 a 1989. Los investigadores reportaron un promedio de  $954 \pm 6,3$  kg, sin considerar lo consumido por el ternero (Rojas y Col., 1990).

Posteriormente, Rojas y Col., (2002) reportaron un rendimiento promedio de  $1169,26 \pm 8,4$  kg de leche en  $2.165,2 \pm 1,0$  días de lactancia en el ganado Criollo Saavedreño, para 1.400 lactaciones, ordeñado con ternero al pie, un registro promedio de 1.169,26

$\pm 8,4$  kg de leche en  $265,2 \pm 1,0$  días de lactancia, no conociéndose que ocurre con el proceso a medida que avanza la lactancia. El investigador reporta que el consumo realizado por el ternero es en promedio de 720 kg de leche en promedio durante los 8 meses de lactancia. Por lo tanto el rendimiento de la lactación es de unos 1.899 kg de leche aproximadamente.

En Santa Cruz de la Sierra, Bolivia a través de un estudio de la producción por lactancia real en un hato Holandés, en un periodo de cuatro años, se observó una media de  $2.367 \pm 77$  kg por lactancia. En cambio la producción por lactancia real para el hato Criollo, determino una media para los cuatro años de  $1.649 \pm 41$  kg de leche, considerando el consumo estimado del ternero. (Wachtel, 1995).

Los resultados obtenidos hasta ahora por el Criollo Saavedreño en producción de leche sugieren que sigue siendo una opción interesante para mejorar la lactancia real promedio en sistemas ganaderos doble propósito (carne – leche), aun predominantes en el Departamento. Sin embargo, su curva de lactancia aun no ha sido caracterizada.

#### **3.4. LA CURVA DE LACTANCIA Y SUS CARACTERÍSTICAS**

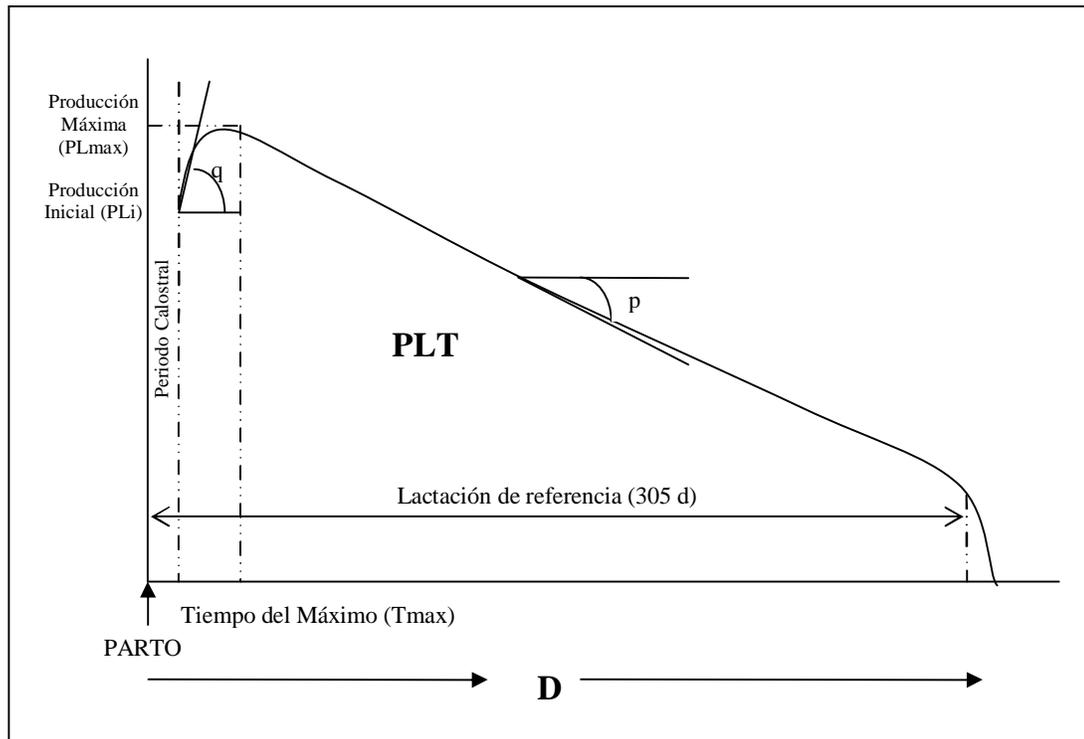
Se entiende por lactancia a la etapa que comprende entre la fecha de parto, que es cuando una vaca comienza a producir leche, y la fecha de secado o término de la lactancia. Si, se registran las producciones de leche regularmente a medida que avanza la lactancia de la vaca y se las colocan en un plano de coordenadas, se puede observar que se va formando una curva denominada “Curva de lactancia” (Wachtel, 1995).

### 3.4.1. DEFINICIONES DE CURVA DE LACTANCIA

- Se entiende por Curva de Lactación la evolución a través del tiempo, de la producción diaria de leche de un animal, así como las variaciones en su comportamiento (Martí y Col., 1998).
- Una Curva de la lactación dibuja el rendimiento de la leche de una vaca después del calostro hasta el secado (aproximadamente 300 días). Muestra el pico de producción, persistencia, y los efectos de eventos específicos en la producción de leche. Porque la forma de la curva de la lactación es bastante constante, el rendimiento lechero se predecirá tempranamente, con la porción inicial de la curva, para estimar la producción total de la lactación.

Durante la lactación de una vaca y en ausencia de todo factor limitante, la producción de leche total (PLT) se encuentra en función del tiempo “t” y puede ser representada en forma general como en la Figura N° 1 (Colin, 1984; Guerrero, 1991). Se observa como la producción lechera aumenta durante las primeras semanas del parto (fase ascendente), alcanzando un máximo de producción, para después decrecer progresivamente (fase descendente), hasta el secado.

**Figura 1. Curva de Lactación Modelo ajustada a 305 días.**



Fuente: Wood, 1967; Citado por Martí, 1999

La curva de lactación se puede caracterizar por una serie de parámetros.

- Duración de la lactación (D):** definida por el intervalo parto-secado (Figura N° 1).
- Producción inicial (PL):** estimada por la media de producción de los días 4<sup>to</sup> a 6<sup>to</sup> post-parto, una vez finalizado el periodo calostrual (Figura N° 1).
- Producción máxima (PLmax):** es la producción de leche diaria en el momento del máximo de la curva. Suele presentarse hacia las 3-10 semanas después del parto (Figura N° 1).

Son los elementos que se utilizan en un modelo matemático de ajuste de la curva de lactación, los valores de PLmax y Tmax son considerados respectivamente como ordenada y abscisa, donde la cantidad de PLmax es obtenida ya sea como un valor promedio de los tres días de producción más elevados o como el valor mas elevado de las medias semanales.

- d) **Producción total:** obtenida acumulando las producciones lecheras diarias. Corresponde a la integral de la curva de lactación (superficie) (Figura N° 1).
- e) **Crecimiento en la fase ascendente:** corresponde a la pendiente de la fase ascendente. A veces se define mediante la diferencia entre la producción máxima y producción inicial (Figura N° 1).
- f) **Coefficiente de persistencia:** de la fase descendente. Se define como una medida del descenso de producción de leche diaria que se mantiene tras transcurrir un tiempo determinado. En ganado vacuno suele situarse alrededor del 10 por ciento mensual (Figura N° 1).

### 3.5. MÉTODOS PARA ESTIMAR LA PRODUCCIÓN DE LECHE

Al estudiar producciones lecheras reales, se observan diferencias notables entre vacas, en cuanto a su duración y sus características. Debido al alto potencial productivo de muchos animales, la lactación del ganado vacuno puede prolongarse más de 12 meses en vacas que no quedan gestantes. Esto ha obligado a estandarizar la producción de leche y a modelar la curva de lactación, con el fin de que se puedan comparar distintos animales en situaciones productivas diferentes (Martí y Col., 1998).

Se han elaborado diversos modelos que permiten estimar la curva total de producción de leche a partir de un número limitado de controles, por ejemplo: mensuales; de ajuste lineal, exponenciales simples y parabólicas, etc. Estos modelos, aún siendo útiles y precisos, en muchos casos no consiguen explicar correctamente la fase ascendente de la curva de lactación.

**3.5.1. Lineal Parabólica** (Malhora y Col; 1980; Masselin y Col; 1987). La ecuación matemática que representa a dicho modelo es:

$$y(t) = a + bt + ct^2 + d \ln(t)$$

Donde:

$y(t)$ , es la producción de leche.

$t$ , el tiempo de lactancia.

$a, b, c, d$ , son parámetros del modelo.

$\ln$ , es la base del logaritmo natural.

La introducción del logaritmo permite romper la simetría del modelo parabólico dando como resultado un mejor ajuste, donde el coeficiente de correlación múltiple obtenido por estos autores fue de 0,99 para datos mensuales y quincenales.

**3.5.2. Exponencial** (Bhat y Col; 1981); Masselin y Col; 1987). Cuya ecuación es:

$$y(t) = ae^{-bt}$$

Donde:

$y(t)$ , es la producción de leche.

$t$ , el estado de la lactación.

$e$ , la base del logaritmo natural.

$a, b$ , son parámetros del modelo. ( $b > 0$ ).

Esta ecuación según Masselin y Col. (1987); es la más antigua de la que se tiene referencia y pone en evidencia el significado de “b” como la persistencia de la curva. Bhat y Col., (1981), utiliza este modelo para ajustar los datos de 44 semanas de lactancia en vacas de la raza Sahiwal cuya característica es su baja producción lechera ya que raramente excede los 10 kg por día y la curva de lactación es decreciente desde el parto, encontrando un coeficiente de correlación múltiple de 0.96.

**3.5.3. Exponencial Parabólico** (Bhat y Col; 1981) Masselin y Col; 1987). Siendo la ecuación de la forma siguiente:

$$y(t) = ae^{-(b+ct)t}$$

Donde:

$y(t)$ , es la producción lechera.

$t$ , el estado de la lactación.

$e$ , la base del logaritmo natural.

Este modelo puede teóricamente estimar un máximo para el instante:

$$t_{\max} = -b/2c$$

Este máximo es obtenido para un valor “ $t$ ” positivo si los parámetros “ $b$ ” y “ $c$ ” son los dos de signos contrarios y diferentes de cero. Así, las curvas ajustadas de producción de leche para vacas no presentan un pico. Y como señala Bhat y Col.(1981) se pueden obtener buenos ajustes y un coeficiente de correlación múltiple igual al modelo anterior de 0.96.

**3.5.4. Gama Incompleta.** El modelo de gamma incompleta elaborado por Wood, (1967), fue utilizado y evaluado por autores como Kellogg y Col., (1977), Yañez, (1987), Menchaca y Ruiz, (1987); Guerrero, (1991); López y Guerrero, (1991). Este modelo matemático es una función exponencial logarítmica representada por la ecuación matemática siguiente:

$$y = at^b e^{-ct}$$

Donde:

$y$ , es la producción lechera (kg).

$t$ , el estado de la lactación.

$e$ , la base del logaritmo neperiano.

$a, b, c$ , son parámetros del modelo

Sin embargo, la función gamma se ve influida por el número de lactación (los coeficientes aumentan con el número de lactación), y por la estación del año en que tiene lugar el parto, así como por el nivel de producción del rebaño  $a$  y  $b$  aumentan y  $c$  disminuye con el nivel de producción total medio).

El modelo de Wood para la predicción la producción a los 240 días:

$$y_{240} = \sum_{t=1}^{240} \hat{a} t^{\hat{b}} e^{-\hat{c}t}$$

Donde:

$y_{240}$ , es la estimación de la producción de leche total a los 240 días.

$t$ , el tiempo de la lactación, desde el día 1 hasta los 240 días.

$\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}$  , son los parámetros estimados de la curva.

Este modelo fue propuesto por Wood (1967), en esta expresión la función potencia “ $t^b$ ” permite integrar la fase ascendente de la lactación y el termino exponencial “ $e^{-ct}$ ” la fase decreciente. Por esta razón este autor interpreta los parámetros “ $b$ ” y “ $c$ ” como los índices de intensidad de crecimiento y decremento de la producción de leche respectivamente y como “factor de forma de la curva” a la función “ $t^b e^{-ct}$ ”, el parámetro “ $a$ ” queda asociado al nivel de producción promedio del inicio de la lactación.

A partir de la ecuación anterior Wood se calcula la fecha del pico de producción:

$$T_{\max} = b/c$$

Y la producción máxima de leche

$$PL_{\max} = a \left( \frac{b}{c} \right)^b e^{-b}$$

Así como el factor de persistencia:

$$s = -(b + 1) \ln(c)$$

**3.5.5. Cobby y LeDu** (Cobby y LeDu; 1978; Mansselin y Col; 1987; Papajesik y Bodero, 1988). Este modelo tiene como expresión matemática la siguiente:

$$y(t) = a(1 - e^{-bt} e^{-ct})$$

Donde:

$y(t)$ , es la producción de leche total.

$e$ , la base del logaritmo natural.

$a, b, c$ , son parámetros del modelo.

Bajo esta forma Cobby y LeDu, (1978); han utilizado éste modelo para ajustar las curvas de lactación en forma más precisa que el modelo propuesto por Wood (1967). Se puede notar que la expresión  $(1 - e^{-bt})$  substituye a la función  $t^b$  lo que permite un mejor ajuste en la fase ascendente de la curva, dado que según los autores de este modelo, los parámetros que se obtienen son más independientes. Sin embargo Masselin y Col; (1987), al usar el modelo de Wood y el de Cobby y LeDu señala una correlación significativa de 0.85 entre los parámetros “a” de las dos ecuaciones. Los parámetros “b” de ambas ecuaciones son correlacionados inversamente significativos (-0.57); en cambio los parámetros “c” de los modelos son independientes. Concluyendo estos autores que globalmente las dos ecuaciones son iguales y que solo en las primeras veinte semanas de lactación el modelo de Cobby y LeDu se adapta mejor que el modelo de Wood.

**3.5.6. Polinomial de Quinto Orden** (Arango y Col; 2000). El modelo matemático es el siguiente:

$$y(x) = \alpha + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \beta_4 x^4 + \beta_5 x^5$$

Donde:

$y(x)$ , es la producción estimada a los  $x$  días.

$\alpha, \beta$ , son coeficientes de la curva.

La producción de leche a un día determinado se realiza mediante la expresión matemática:

$$\int_0^{240} \alpha + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \beta_4 x^4 + \beta_5 x^5 dx$$

### 3.6. FACTORES QUE AFECTAN LA CURVA DE LACTANCIA Y LA PRODUCCIÓN DE LECHE

En general se considera que el potencial de producción lechera de un animal queda definido poco después del parto, por la cantidad de tejido secretor existente y su actividad. Sin embargo, la producción real de leche durante la lactación está determinada por la magnitud y el tiempo que pueda mantenerse dicho potencial productivo. Ambos parámetros se ven influidos, a su vez, por un gran número de factores que se dividen clásicamente en dos grupos fundamentales: *intrínsecos* que dependen del animal y no pueden ser modificados fácilmente; *extrínsecos*, o del medio ambiente y sobre los que se puede actuar con facilidad mediante prácticas de manejo (Martí y Col., 1998).

#### 3.6.1. FACTORES DE VARIACIÓN INTRÍNSECOS

La producción de la leche de vaca puede verse influida por un amplio número de factores, que ejercen su acción, de una forma más o menos marcada, a lo largo de toda la lactancia (desde el calostro hasta el secado).

##### 3.6.1.1. GENOTIPO

El mejoramiento de la cría de ganado lechero asume que las diferencias genéticas son en parte responsables por las diferencias en la producción de leche entre animales. Sin embargo, la mayor parte de los caracteres de importancia económica, como la

producción de leche son afectados por el clima, manejo, salud y nutrición. La importancia relativa de los efectos genéticos y medioambientales determina que tan heredable es un carácter. (Wachtel, 1995).

Se ha constatado, en el estudio de los coeficientes de heredabilidad y de correlación para los distintos caracteres productivos, que los factores genéticos tienen más influencia sobre la calidad y composición de la leche que sobre la cantidad. Así, mientras el coeficiente de heredabilidad para los contenidos de grasa y proteína es alto (0,40), para la cantidad de leche dicho coeficiente es mucho más bajo (0,20). Por lo tanto, la producción de leche depende más de factores ligados al medio, y su composición de los caracteres genéticos. Estas diferencias en composición y producción debidas a los factores genéticos se presentan no solo entre animales de distintas razas de una forma muy significativa, sino también entre animales de una misma raza (Martí y Col., 1998).

### **3.6.1.2. NÚMERO DE LACTACIÓN**

La producción de leche aumenta con el número de lactación, alcanzando un máximo hacia el 3° - 5° parto. El incremento productivo hasta la madurez es del orden de un 20 – 40 por 100, y donde existe un mayor aumento de producción es entre la primera y segunda lactación (20 a 30%). A partir de los 8 a 9 años (6° a 7° gestación), las vacas experimentan una ligera reducción en el nivel de producción lechera, que prosigue hasta que mueren.

La producción de leche se inicia a un nivel relativamente alto, aumenta hasta la quinta y octava semana, en la cuál alcanza su máximo, para luego declinar más rápidamente, las vacas adultas producen de 30 y 35% más leche que las vacas que paren por primera vez a los 24 meses, este incremento se debe al aumento del tejido secretor en la ubre y al aumento del tamaño del animal (Vélez, 1993).

Se ha demostrado que la influencia de la edad de la vaca y orden de parición, hasta alcanzar un valor máximo, descendiendo después en edades más avanzadas. Las variaciones que ocurren, resultan de alteraciones anatómo – fisiológicas; coincidiendo el mayor desempeño con la plena madurez (Rojas, 2002).

Los rendimientos de leche presentan un índice creciente hasta cerca del octavo año de edad, dependiendo de la raza, a continuación disminuye, no obstante la disminución después del octavo año es mucho menor que el incremento antes de esa edad (Donald y Col., 1987).

El orden de parto presentó efecto significativo ( $P < 0,01$ ) sobre la producción de leche, y no significativo sobre el periodo de lactación. La máxima producción fue en el sexto parto, observándose un ligero descenso a partir del octavo parto; al respecto otros investigadores indican que la mayor productividad se presenta en el cuarto parto debido a la madurez reproductiva de la vaca (Rojas, 2002).

El efecto de la edad de las vacas reflejada en el número de partos fue estudiada por varios autores entre ellos Pearson y Col (1986), trabajando con la raza Blanco Orejinegro (BON); Ríos y Bodisco (1962), Rubio (1976), trabajando con la raza Costeño con Cuernos (CCC) y ordeñadas con ternero al pie, así también Magofke y Bodisco y Col., (1986), con el Criollo Lechero Venezolano (CLV), demostraron un aumento en la producción es hasta el cuarto parto y el séptimo parto en algunos casos (Romero, 1998).

Comportamiento similar se observa también en el ganado Criollo CCC, donde los niveles alcanzados en la primera lactación, disminuyeron en la segunda y en la tercera y apenas aumentaban en las dos posteriores. En la sexta y séptima lactación el aumento fue notable de 1.070 a 1.135 kg (Rubio, 1976).

### **3.6.1.3. GESTACIÓN**

Hacia el final de la gestación se produce una caída notable de la producción lechera. La mayor parte del descenso tiene lugar durante el 7º mes de gestación, que suele ser el último de la lactación, con una reducción en la producción diaria de un 20 por ciento o más. El incremento de las necesidades fetales, y, más probablemente, un mecanismo hormonal (elevación de progesterona y estrógenos), está en el origen de este descenso (Martí y Col., 1998).

### **3.6.1.4. ESTADO DE DESARROLLO Y RESERVAS CORPORALES**

Existe una relación general positiva entre el peso corporal de las vacas y el nivel de producción lechera, ya que las vacas de mayor tamaño poseen más tejido secretor en las ubres y aparatos digestivos más amplios. Así mismo las vacas deben hallarse en un buen estado de carnes (*condición corporal*), en el momento del parto, para que la grasa corporal se pueda movilizar al inicio de la lactación, (momento de posible déficit energético), (Martí y Col., 1998).

Las vacas que pertenecen a hatos con buenos sistemas de alimentación maduran generalmente con mayor rapidez, estas vacas alcanzan su máxima producción a edad más temprana que aquellas que han estado en sistemas con pobre alimentación (Ávila, 1986).

### **3.6.1.5. ESTADO SANITARIO**

La reacción más frecuente del animal enfermo es disminuir la secreción láctea, en cantidad y calidad. Entre las patologías relacionadas con la producción lechera cabe destacar la mamitis, en sus dos vertientes: *clínica* y *subclínica*. La mamitis produce una disminución de la producción lechera, dependiendo del grado de infección entre

un 5 y un 40 por ciento, y modifica la composición de la leche. Esta modificación en la composición así como la disminución del rendimiento, no vuelve necesariamente a sus valores normales cuando el animal sana, no alcanzándose habitualmente la normalidad hasta por lo menos la siguiente lactación (Martí y Col., 1998).

### **3.6.2. FACTORES DE VARIACIÓN EXTRÍNSECOS**

#### **3.6.2.1. EFECTOS AMBIENTALES**

La época de parición representada por el mes o estación del año influencia en la producción de leche, por lactación, principalmente aquellos animales cuyas razas europeas exigen una faja de confort específica (Naufel, 1965; citado por Rojas, 1986). Aunque el manejo de las vacas en producción se lo realiza con homogeneidad en lo referente a las pasturas y la suplementación alimenticia, esto no refleja el carácter productivo de cada animal, sino tal como se observa está supeditado al carácter estacional de la época (Rojas y Col., 2002).

La variable periodo de parto, involucra en si cambios en disponibilidad de la cantidad y calidad de las pasturas, que se presentan de año en año; a consecuencia de los cambios climáticos que se registran, al mismo tiempo tenemos el manejo aplicado al hato, los efectos de la propia selección, la introducción de nuevos reproductores, cambios de personal, y otros. (Rojas, 2002).

El principal método para la conservación de la temperatura corporal en el ganado bovino es el aumento de la frecuencia respiratoria, la cual se incrementaría 5 veces si la temperatura ambiente varía de 10 a 45 °C. Esto es más serio si se considera que una vaca en producción presentará prácticamente el doble de producción de calor comparada con una vaca seca (Watchel, 1995).

Cabe destacar la influencia sobre los rendimientos lecheros, de factores como la estación del año y el clima (temperatura fundamentalmente). Los partos de otoño o principios de invierno suponen mejores lactaciones que los de primavera y verano, con una diferencia de producción que puede alcanzar los 400-500 litros. En lo referente al clima, cabe destacar que las temperaturas altas o bajas disminuyen la cantidad de leche y alteran su composición. La temperatura óptima es de 10 °C (entre 4,5 y 24 °C hay poco efecto). La humedad afecta la producción de leche comprobándose que en los climas secos disminuye el rendimiento lechero. La altitud parece influir en la producción lechera, tendiendo a disminuir la cantidad de leche y aumentar el contenido de grasa en las zonas altas de montaña (Martí y Col., 1998).

La producción de leche en el trópico húmedo además del estrés climático sobre el animal la producción de forraje muestra variaciones en calidad como disponibilidad durante el año, estas pueden tener influencia sobre fisiológica de la lactancia, modificando la forma típica de producción diaria (Bodisco et al., 1966; García, 1988; González y Hernández, 1990; Hernández y Jiménez, 2001; citado por Apodaca y Col, 2001).

Al estudiar el efecto de la estación de parto sobre el periodo de lactación y producción de leche en vacas Criollas de la EEAS, para los años 1982 – 2002, indica que existe un efecto significativo ( $P > 0,01$ ), los investigadores observaron que las vacas paridas en invierno (Julio – Septiembre), producen mayores rendimientos lecheros ( $1.220,61 \pm 17,3$  kg) en relación con otras estaciones; así mismo, los días de lactancia son mayores (266 días) cuando las vacas paren en invierno (Rojas y Col., 2002).

Noguera y Col., (1994), al evaluar el comportamiento productivo de un rebaño mestizo indefinido en el sur del lago de Maracaibo observaron que el mes de parto, tiene un efecto altamente significativo ( $P < 0,01$ ), los días de lactancia, y la

producción de leche, obteniendo promedios para producción total de  $1.552 \pm 51,5$  y días de lactancia de  $215 \pm 55$  días.

La influencia de otros factores sobre la producción en vacas Criollas, fue estudiada en las razas Blanco Orejinegro (BON), Criollo lechero de América Central (CLAC) y Criollo Lechero Venezolano (CLV), las vacas que iniciaban su producción en estaciones climáticas favorables, producen más que las paridas en las estaciones adversas, los peores rendimientos fueron observados en las vacas paridas en fuertes lluvias, correspondiente a los meses de octubre y noviembre (Pearson, 1968).

### **3.6.2.2. ORDEÑO**

La cantidad de leche producida por una vaca se afecta por el intervalo entre ordeños de manera que tal que cuando se realiza con un intervalo de 12 horas, obtendremos la máxima producción, en tanto que si en intervalo es entre 10 y 14 horas habrá una ligera pérdida que será del 2 a 4 por 100 (Watchel, 1995).

Si el ordeño se realiza una sola vez al día en vacas de primera lactación, la producción obtenida se reducirá en un 50 por ciento y en vacas de segunda lactación en un 40 por ciento. El ordeñar tres veces al día, incrementa la producción en un 25 a 20 por ciento y si se realizara un cuarto ordeño el incremento sería de 5 a 10 por ciento mayor que el obtenido con tres ordeños diarios (Smith, 1986).

En vacas de alta producción el aumento de cuatro ordeños en vez de dos diarios, produce una disminución en la presión intramamaria estimula la secreción. Esta teoría se basa en el hecho que la secreción de grasa y leche es menor durante el periodo comprendido entre los ordeños de la tarde y la mañana en comparación con la secreción que se efectúa entre los ordeños de la mañana y la tarde. También este incremento en producción se atribuye a un aumento en la hormona lactogénica. El

efecto del intervalo entre ordeños en relación a la producción está influido por las características individuales de la vaca, tales como la capacidad de la glándula, periodo de lactación y cantidad de leche producida (Ávila, 1986).

### **3.6.2.3. ALIMENTACIÓN**

La alimentación es uno de los factores extrínsecos más importantes de los que afectan la forma de la curva de lactación. Se puede decir que la ingestión de alimentos se incrementa durante las 8 – 12 primeras semanas de lactación, y es gracias a la movilización de reservas corporales del animal, que la producción de leche no se ve afectada negativamente, a pesar del desfase entre el aumento de ésta y el de la ingestión. A medida que avanza la lactación, la ingestión de nutrientes suele ser suficiente para cubrir las necesidades del animal, pudiéndose producir un superávit que se utiliza para reponer sus reservas corporales (Martí y Col., 1998).

### **3.6.2.4. PERIODO SECO**

La duración del periodo seco guarda una elevada relación con el estado de reservas corporales del animal en el momento del parto. Las vacas delgadas la final de la lactación necesitan un periodo improductivo que les permita reponer sus reservas corporales y afrontar la siguiente lactación. Además, la ubre de la vaca precisa un periodo seco, para la regeneración del tejido secretor. Se suele aconsejar periodos secos de 60 días, ya que se ha observado que animales con periodos menores (40 – 50 días) o mayores (70 – 80 días) presentan en la siguiente lactación producciones ligeramente inferiores (hasta 900 kg). (Campos, 1989)

### **3.6.2.5. EFECTO DEL AÑO DE PARTO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LECHE**

El efecto del año de parto sobre la producción de leche, es una importante medida que refleja de manera general un complejo de influencias pueden ser de orden climático, de manejo, alimentación, también debido a variaciones en composición genética de los rebaños o por la introducción de nuevos animales o reproductores con características genéticas diferentes (Arango y Col., 2000).

La influencia del año de parto sobre la producción lechera de vacas Criollas nacidas en la EEAS fue analizada en Santa Cruz – Bolivia, los investigadores indican que tuvo un efecto significativo ( $P < 0,01$ ) sobre la producción de leche a través de los años de estudio (Rojas y Col., 1990).

A fin de determinar la influencia de ciertos factores fisiológicos y ambientales sobre la eficiencia productiva de los Criollos Limoneros en su región de origen, Abreu y Col., (1977), estudiaron 302 registros de producción de leche acumuladas en la Estación Experimental de Carrasquero durante el periodo de 1968 a 1971, se encontraron efectos significativos entre los años ( $P < 0,01$ ), (Citado por Rojas y Col., 2002).

Evaluando 5.200 lactaciones de la raza Holstein, los investigadores observaron, que el año de parición influenciaba significativamente ( $P < 0,01$ ) sobre la producción de leche (Reis y Col., Citado por Romero 1998)

## **IV MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. MATERIAL**

#### **4.1.1. UBICACIÓN DEL ESTUDIO**

El presente trabajo se realizó en la Estación Experimental Agrícola de Saavedra (EEAS) que se encuentra ubicada en el Área Integrada del departamento de Santa Cruz en la provincia Obispo Santiesteban, municipio del General Saavedra. Su localización aproximada es 17° 14' de Latitud Sur y 63° 10' de Longitud Oeste Comprende ligeras ondulaciones y una altura promedio de aproximada de 320 m.s.n.m. (AASANA, 1993).

Los suelos predominantes son franco arenoso, sujetos a erosión eólica. Son comunes las napas freáticas altas, especialmente en los suelos arenosos (Rojas y Col., 2002).

#### **4.1.2. ESTABLECIMIENTO DE LA BASE DE DATOS.**

La información necesaria para la elaboración de los modelos se obtuvo de los registros de producción diaria e individual de la EEAS, de los años comprendidos entre 2001 a 2005, en principio se incorporaron 79.501 registros de producción diaria correspondientes a 305 lactancias.

Se elaboró una base de datos en Microsoft Excel® 2000 incorporando: número del animal, fecha de parto, número del parto, producción de leche de la mañana y de la tarde (kg /día) y producción total (kg /día).

La base de datos se depuró según los siguientes criterios: lactancias menores a 150 días (5 meses), más de 10 días faltantes continuos, abortos, y muerte del ternero. Los registros incompletos menores a 10 días se calcularon mediante medias móviles (4 periodos anteriores y 4 posteriores). La base final quedó conformada por 51. 293 registros de producción diaria correspondientes a 229 lactancias.

Para el presente estudio con el fin de obtener una muestra homogénea, y al no disponer de tablas de ajuste de lactancia a 305 días, para la raza Criolla, se utilizaron sólo los registros diarios de producción de las vacas Criollas de la EEAS, con lactancias desde los 150 días hasta los 240 días, ya que el destete es realizado a los 8 meses de edad del ternero.

Con el propósito de mejorar el ajuste de los modelos, los datos se agruparon según el número de lactaciones, con las categorías: primera, segunda y tercera o más lactaciones (para lactaciones provenientes del primer, segundo y tercer o más partos), y en dos subcategorías según la época de parto (verano e invierno) correspondientes a aquellas lactaciones cuyos partos se registraron entre los meses de octubre a marzo y abril a septiembre respectivamente.

## **4.2. MÉTODOS**

### **4.2.1. MÉTODO MATEMÁTICO**

#### **4.2.1.1. GAMMA INCOMPLETA (Wood, 1967).**

Para la determinación de los coeficientes de la función descrita por Wood se debe desarrollar dos vectores  $y$ ,  $t$ , considerando que el número de observaciones  $n$ , debe ser igual:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}; t = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \vdots \\ t_n \end{bmatrix}$$

Donde:

$y$ : cantidad de leche.

$t$ : el día de muestreo.

$n \geq 3$

Los vectores forman la matriz “ $x$ ” y el vector  $\ln y$ .

$$x = \begin{bmatrix} 1 & \ln t_1 & t_1 \\ 1 & \ln t_2 & t_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \ln t_n & t_n \end{bmatrix}; \quad \ln y = \begin{bmatrix} \ln y \\ \ln y \\ \ln y \end{bmatrix}$$

Para resolver el modelo se debe calcular:

$$(x'x)^{-1} x' \ln y$$

El resultado es un vector  $Z$  el cual contiene los coeficientes del modelo de Gamma incompleto.

$$Z = \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix}$$

**4.2.1.2. POLINOMIAL DE QUINTO ORDEN.**- Evaluado por Arango y Col., (2000).

Según los  $n$  pares de observaciones  $\{(x_i, y_i); i = 1, 2, \dots, n\}$ . Cada observación,  $y_i$  satisface la ecuación

$$y_i = \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \dots + \beta_r x_i^r$$

Donde:

$y$ : cantidad de leche.

$t$ : el día de muestreo.

$r$ : es el grado del polinomio

$n$ : debe ser al menos tan grande como  $r+1$

Para resolver la ecuación polinomial se determina:

$$t = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 & t_1^3 & \dots & t_n^r \\ 1 & t_2 & t_2^2 & t_2^3 & & t_n^r \\ \vdots & & & & & \\ 1 & t_n & \dots & & & t_n^r \end{bmatrix}; y = [y_1 \quad y_2 \quad \dots \quad y_n]$$

Para resolver el modelo se debe calcular:

$$z = t / y'$$

El resultado es un vector Z el cual contiene a los coeficientes del modelo Polinomial.

$$z = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix}$$

Los modelos matemáticos se calcularon en un software, utilizando lenguaje de programación orientada a modelos matemáticos en Microsoft Visual Basic ®, versión 6.0. Para la preparación de las bases de datos se utilizó Microsoft Excel® 2000, interactuando con Microsoft Access® 2000, y el análisis matemático con Matlab ® 6.1 para análisis de datos de salida.

#### 4.2.2. MÉTODO ESTADÍSTICO

La evaluación estadística de los datos zootécnicos se realizó mediante un Analisis de varianza (ANAVA), a través de la prueba de Fisher, y la prueba de Duncan para la comparación de medias. Para el análisis del ajuste de los modelos matemáticos se utilizó el Coeficiente de Determinación ( $r^2$ ).

## V RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 5.1. PRODUCCIÓN DE LECHE Y PERIODO DE LACTACIÓN

Se evaluaron un total de 229 lactancias incompletas (hasta los 8 meses) de vacas del proyecto Criollo del Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT), correspondientes al periodo de 2001 – 2005.

Los promedios de producción de leche y días de lactancias fueron  $1079,8 \pm 23$  kg y  $223,9 \pm 2,2$  días hasta los 8 meses respectivamente, siendo los coeficientes de variación 32,26% y 15,24 para dichos parámetros. El promedio del periodo de lactancia demuestra que los terneros se destetaron alrededor de los 8 meses de edad, durante el cual las vacas tuvieron una producción 1079 kg de leche, sin considerar el consumo del ternero, que según estudios realizados en la EEAS es de 720 kg hasta el destete.

El criollo de Saavedra al ser una raza de alta adaptación natural al medio tropical, característica que le permite producir leche bajo condiciones extensivas, y rústicas del trópico, ha sido seleccionado como un animal doble propósito buscando tanto la producción de leche para el consumo humano como para la alimentación del ternero, y su lactancia debe tener como mínimo una duración y una producción de leche adecuada, para satisfacer los requerimientos nutricionales del ternero.

En el Cuadro 2, se presentan las medias aritméticas de producción diaria de leche durante la lactancia hasta el destete (8 meses) de las vacas Criollas Saavedreñas del CIAT. Se puede observar que las medias de producción oscilan entre los 3 y 7 litros/día. Producción que se observó en animales produciendo leche bajo condiciones de pastoreo (sin suplementación de concentrado),

Cuadro 2. Medias y desviación estándar, de la producción mensual de leche (kg), a lo largo de la lactancia según el número de lactancia, del hato de vacas Criollas del la EEAS, hasta el destete (8 meses).

MES DE LACTANCIA	NÚMERO DE LACTANCIA				
	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta
1	4,93 ±3,97	6,50 ± 4,17	7,36 ±4,86	6,47 ±4,64	7,03 ±6,07
2	4,60 ±2,91	6,14 ±2,81	6,99 ±3,71	6,30 ±3,52	7,11 ±4,09
3	3,76 ±1,97	5,14 ±2,37	5,92 ±2,65	5,44 ±3,35	6,00 ±4,10
4	3,41 ±1,41	4,36 ±1,86	5,05 ±2,12	4,83 ±2,86	5,23 ±3,36
5	3,23 ±1,14	3,95 ±1,70	4,79 ±1,72	4,49 ±2,27	5,05 ±3,24
6	3,12 ±1,21	3,75 ±1,59	4,67 ±1,76	4,27 ±1,94	4,71 ±2,69
7	3,16 ±1,17	3,55 ±1,79	4,27 ±1,86	3,99 ±1,83	4,26 ±2,61
8	3,06±1,12	3,48 ±1,44	3,97 ±1,52	3,55 ±1,55	3,87 ±2,44

(Fuente, Elaboración propia.)

Estudios realizados Rojas y Col., (1990) durante el periodo de 1982 – 1989, registran producciones promedio de 954, 11 ±16,3 kg, con un total de 265,66 ±2,9 días de lactancia real, para vacas Criollas Saavedreñas, los resultados no incluyen lo consumido por el ternero. Los coeficientes de variación del estudio fueron 38,8% y 23,8% para la producción de leche y días de lactancia respectivamente.

Watchel (1995), al estudiar la lactancia real del Criollo de Saavedra, reportó un promedio de 234 ±7,88 días de lactancia y 1649 ±41 kg de producción de leche, durante 4 años de estudio (1990 – 1994), este promedio considera lo consumido por el ternero.

Romero (1998), reporta una producción de leche en vacas Criollas Saavedreñas de 1060, 5 ±8,9 kg y un periodo de lactación de 236,6 ±2,5 días, para el periodo de 1990–1995, los coeficientes de variación fueron 27% y 16,3% respectivamente. Estos resultados no consideran el consumo del ternero.

## 5.2. EFECTO DEL AÑO DE PARTO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LECHE Y PERIODO DE LACTACIÓN

El cuadro 3 muestra, que por el análisis de varianza que el año de parto influyó de manera significativa ( $P < 0,05$ ) el periodo de lactación, así como influyó significativamente ( $P < 0,01$ ) a la producción de leche.

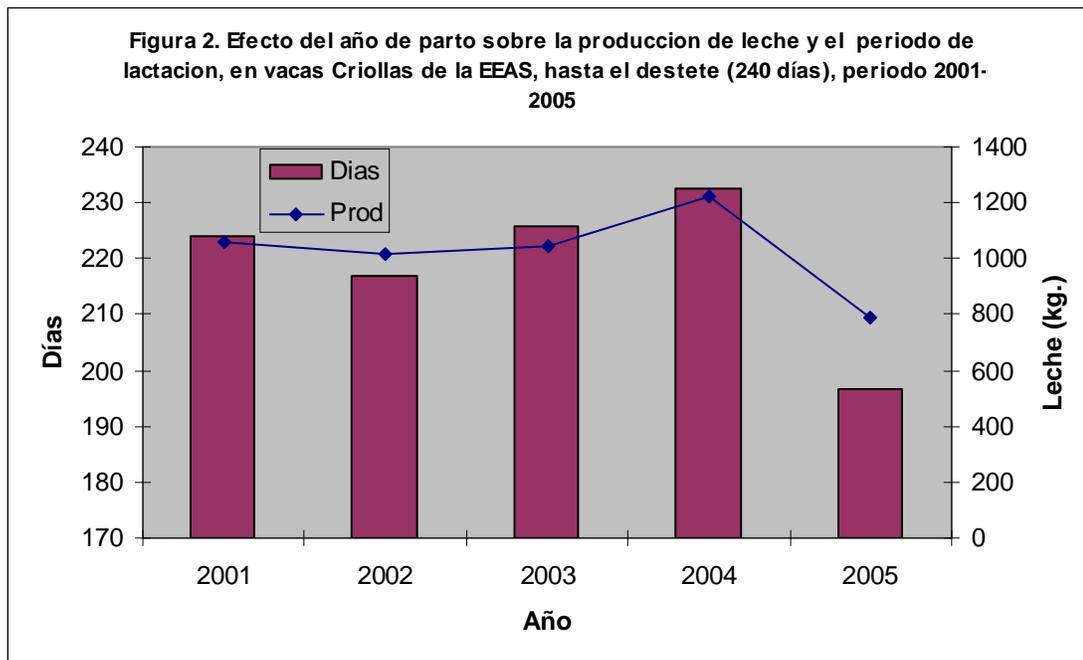
El efecto del año de parto sobre la producción de las vacas, fue importante, ya que este refleja de manera general un conjunto de influencias complejas a las cuales los animales se encuentran sujetos durante el año. Estas influencias pueden ser de orden climático, manejo, alimentación, además de cambios en la composición genética del hato, debido a procesos de selección e introducción de nuevo material genético en el hato.

Las medias aritméticas ( $\bar{X}$ ) y los errores estándar (EEM) se muestran el Cuadro 3 y se grafican en la Figura N° 2, donde se observa una tendencia positiva de aumento de la producción de leche, durante el periodo evaluado. Sin embargo se observa que las vacas paridas en el año 2004 presentan la producción lechera más alta (1.222,2 kg), al mismo tiempo se observa una disminución de la producción en el año 2005. Esta diferencia es debida a que la base de datos conformada en el año 2005, solo contiene vacas de primer parto, las cuales tienen producciones menores durante su primera lactancia.

Cuadro 3. Efecto del año de parto sobre la producción de leche y el periodo de lactación de vacas Criollas de la EEAS, hasta el destete (240 días), periodo 2001 – 2005.

Producción de Leche					Periodo de Lactación				
Año	N	X	±	EEM	Año	N	X	±	EEM
2001	52	1.060,4 <sup>a</sup>	±	47,2	2001	52	224,0 <sup>a</sup>	±	3,8
2002	60	1.017,1 <sup>a</sup>	±	40,9	2002	60	217,1 <sup>a</sup>	±	5,6
2003	50	1.046,0 <sup>a</sup>	±	50,6	2003	50	225,7 <sup>a</sup>	±	4,9
2004	60	1.222,2 <sup>a</sup>	±	44,3	2004	60	232,7 <sup>a</sup>	±	2,7
2005	7	787,8 <sup>b</sup>	±	106,5	2005	7	196,7 <sup>b</sup>	±	19,0

\*Letras iguales en una misma columna indican que las medias no difieren significativamente ( $P < 0,05$ ) por el test de Duncan



Rojas y Col., (1990), a través de un estudio realizado sobre la producción lechera de vacas Criollas en la EEAS, observó variaciones significativas ( $P < 0,01$ ) de la influencia del año de parto sobre el periodo de lactación y producción de leche. Este trabajo coincide con el estudio realizado por Romero (1998), el cual concluyó que el efecto del año de parto sobre el periodo de lactación y producción de leche, es significativo ( $P < 0,01$ ), en el periodo de 1990 – 1995, en vacas Criollas de la EEAS

### **5.3. EFECTO DE LA ÉPOCA DE PARTO SOBRE EL PERIODO DE LACTACIÓN Y PRODUCCIÓN DE LECHE**

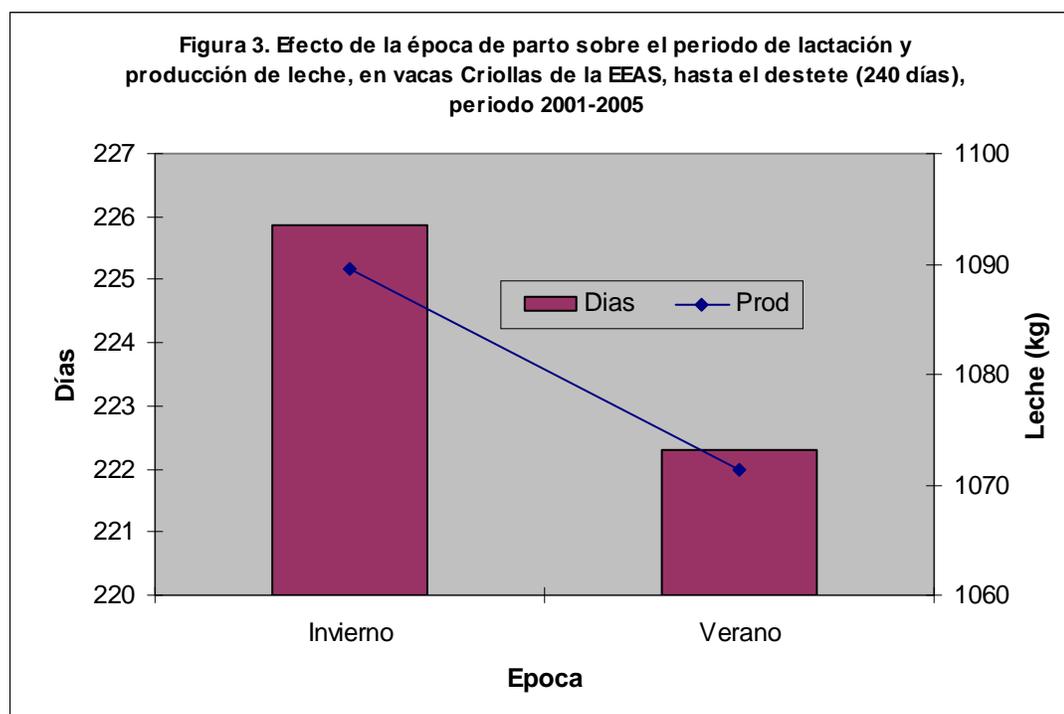
Se determinó que el efecto de la estación de parto sobre el periodo de lactación y producción de leche hasta el destete de vacas Criollas en la EEAS, no fue significativa ( $P > 0,05$ ) para ambas variables.

Las medias estimadas aritméticas (X) y los errores estándar (EEM), del efecto de la estación de parto sobre el periodo de lactación y la producción de leche están representadas en el Cuadro 4 y Figura 3. Se evidencia que las lactaciones más largas y con mayor producción de leche se iniciaron en la época de otoño – invierno.

Cuadro 4. Efecto del estación de parto sobre la producción de leche y el periodo de lactación de vacas de Criollas de la EEAS, hasta el destete (240 días), periodo 2001 – 2005.

Producción de Leche				Periodo de Lactación				
Estación	N	X	± EEM	Estación	N	X	± EEM	
Verano	121	1.071,4	± 30,59	Verano	121	222,3	± 3,26	
Invierno	108	1.089,6	± 34,90	Invierno	108	225,9	± 3,09	

\*Letras iguales en una misma columna indican que las medias no difieren significativamente ( $P < 0,05$ ) por el test de Duncan



Rojas y Col., indican que la estación de parto no afectó significativamente ( $P > 0,05$ ) el periodo de lactancia y producción de leche en vacas Criollas de la EEAS, para los años 1982 – 1989, pese a ello, se observó que las lactancias que ocurrían durante la

época de invierno, tienden a presentar mayor producción de leche y periodo de lactación mas largo. Las vacas que paren en verano registran menor periodo de lactación y producción de leche.

En contradicción a los resultados del presente los estudio, Magofke y Bodisco (1966) y Abreu y Col., (1972), al estudiar los promedios diarios de producción de leche, de ganado Venezolano puro y mestizo demostraron que el periodo de sequía (Enero – Abril), afectaba notablemente los rendimientos y las curvas de lactancia de las vacas, observándose un desarrollo normal de la producción solo en animales paridos en el periodo de Mayo –Diciembre.

La época de la parición influencia en la producción de leche por lactancia, pero repercute mas en aquellos animales cuyo origen europeo exige una faja de confort especifica (Pereira, 2005).

#### **5.4. EFECTO DEL ORDEN DE PARTO SOBRE EL PERIODO DE LACTACIÓN Y PRODUCCIÓN DE LECHE**

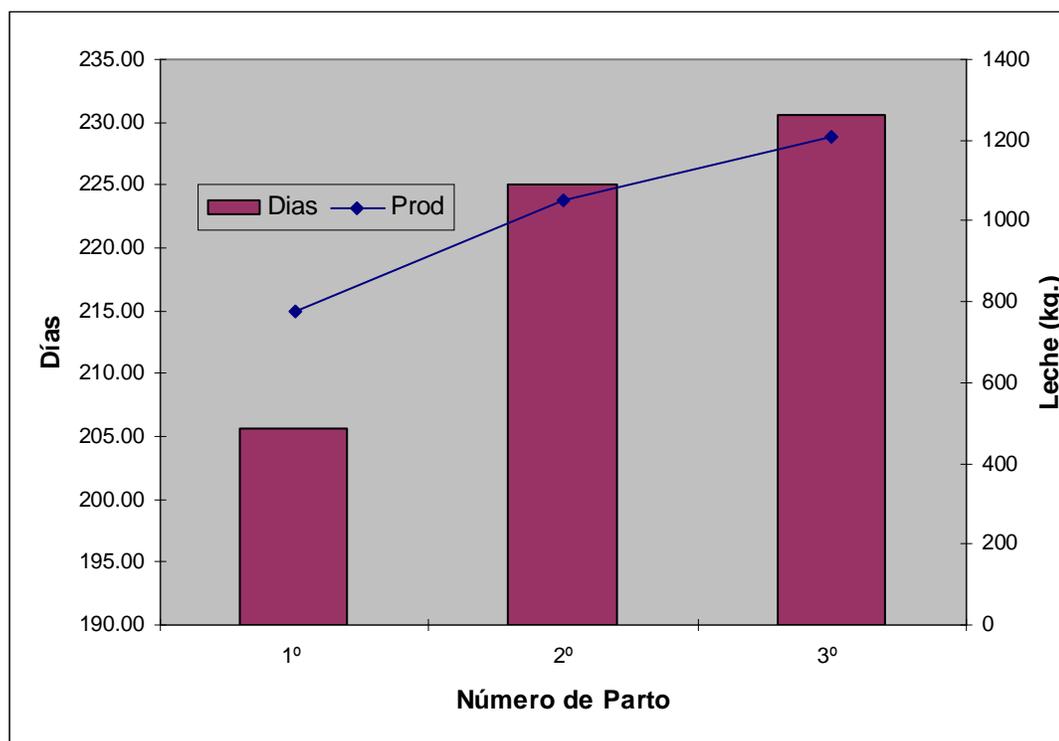
Al análisis estadístico, el orden de parto presentó efectos significativos ( $P < 0,01$ ) sobre el periodo de lactación y producción de leche. Se observa en el Cuadro 5 y en la Figura 4, que los mayores rendimientos lecheros se producen a partir de la tercera lactancia con  $1210,7 \pm 29,28$  kg de leche y  $230 \pm 2,3$  días de lactancia respectivamente. Hubo una tendencia gradual positiva de aumento de la producción de leche, y aumento de los días de lactación según el número de parto.

Cuadro 5. Efecto del orden de parto sobre el producción de leche y el periodo de lactación de vacas de Criollas de la EEAS, hasta el destete (240 días), periodo 2001 – 2005.

Producción de Leche				Periodo de Lactación			
Orden de parto	N	X	± EEM	Orden de parto	N	X	± EEM
Primero	48	778,4 <sup>a</sup>	± 41,58	Primero	48	205,71 <sup>a</sup>	± 6,73
Segundo	58	1.052,2 <sup>b</sup>	± 36,48	Segundo	58	225,02 <sup>b</sup>	± 4,13
Tercero	123	1.210,7 <sup>c</sup>	± 29,28	Tercero	123	230,63 <sup>b</sup>	± 2,39

\*Letras iguales en una misma columna indican que las medias no difieren significativamente ( $P < 0,05$ ) por el test de Duncan

Figura 4. Efecto del Orden de Parto sobre el periodo de lactación y producción de leche de vacas Criollas, en la EEAS, hasta el destete (240 días), periodo 2001 -2005, según época



Las variaciones observadas en el periodo de lactación, coinciden con la madurez fisiológica del animal. En este sentido es importante realizar un manejo adecuado de la vaca primípara para obtener mejores rendimientos.

En muchos trabajos se ha demostrado la influencia de la edad de la vaca y/o orden de parición sobre la producción de leche, tanto en condiciones de clima templado como en climas tropicales (Abreu y Col. 1977; Campos, 1989; Apodaca, 2000). Trabajos experimentales indican que la producción aumenta hasta alcanzar un valor máximo, descendiendo después a edades más avanzadas. Las variaciones que ocurren resultan de alteraciones anátomo - fisiológicas, coincidiendo el máximo desempeño con la plena madurez.

Rojas (1995), al estudiar el efecto del orden de parto sobre el periodo de lactación y la producción lechera, durante el periodo 1990 – 1995, determinó un efecto significativo ( $P < 0,01$ ) para la producción lechera, y un efecto no significativo para el periodo de lactación ( $P > 0,05$ ).

Resultados similares fueron encontrados por Romero (1998), quien determinó que el orden de parto tiene un efecto significativo ( $P < 0,01$ ) sobre la producción de leche, y un efecto no significativo ( $P > 0,05$ ) sobre el periodo de lactación, para vacas Criollas de la EEAS, en el periodo de 1990 – 1995.

## **5.5. CARACTERIZACIÓN DE LA CURVA DE LACTANCIA**

Desde el punto de vista de la evolución, el propósito de la lactancia es el de proveer de nutrientes suficientes a la cría en su vida temprana, y esto es fundamental, para la sobrevivencia de las especies. En condiciones ambientales adversas, las vacas no preñan mientras persiste la lactancia, pudiendo llegar a un intervalo entre partos, que supere los dos años. En las lecherías modernas se intenta que el intervalo no supere los 365 días, con una lactancia de 305 días y un periodo seco de 60 días, por lo tanto la vaca debe quedar preñada a los 80 días después del parto. Es en este momento cuando se produce, un desbalance energético, debido a que la vaca comienza su lactancia produciendo mucha leche hasta el pico de lactancia, sin que esto

corresponda con una cantidad de energía proveniente del alimento suficiente para dicha producción, ya que su capacidad de consumo es limitada. Para hacer frente a este desbalance la vaca hace uso de sus reservas corporales para obtener la energía necesaria para producir leche, entonces pierde peso. Por lo anterior, es muy importante que la vaca llegue al parto en buena condición corporal para que la pérdida de peso en la lactancia temprana no afecte su comportamiento reproductivo. Pasado el pico de producción, el animal aumenta progresivamente su consumo de alimento y la energía obtenida es repartida entre la producción de leche y los tejidos corporales, por ende la producción de leche comienza a declinar y el animal comienza a engordar. De lo anterior se puede inferir que el comportamiento reproductivo y la producción de leche están íntimamente relacionados entre sí, y ambos dependen del balance energético entre los tejidos del cuerpo y del alimento consumido (eficiencia de conversión), según Haresing y Cole (1981). Ya que existe una la relación entre la curva de lactancia, el balance energético y la eficiencia reproductiva, resulta muy importante establecer los conocimientos sobre los parámetros de así curvas de lactancia del hato y a partir de ellos actuar sobre el manejo.

En este estudio fueron estimados los parámetros de la curva de lactancia a partir de las funciones,  $y = at^b e^{-ct}$  propuesta por Wood (1967), y  $y(x) = \alpha + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \beta_4 x^4 + \beta_5 x^5$  propuesta por Arango (2002).

Los parámetros de las curvas de lactancia, de las vacas Criollas de la EEAS, estimados mediante el modelo de Wood (1965) y mediante el modelo Polinomial de quinto grado (Arango, 2002), son presentados en los cuadros 6.

Cuadro 6. Cuadro de coeficientes del modelo de Wood (a, b, c), y Polinomial de quinto grado ( $\alpha$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ,  $\beta_4$ ,  $\beta_5$ ) para las curvas de lactancia y coeficientes de determinación ( $r^2$ ), para Vacas Criollas de la EEAS, hasta el destete (240 días), periodo 2001 - 2005.

Variable	Modelo Gamma Incompleto (Wood)							Modelo Polinomial quinto						
	a	b	c	R <sup>1</sup>	Dp <sup>2</sup>	Yp <sup>3</sup>	S <sup>4</sup>	$\beta_5$	$\beta_4$	$\beta_3$	$\beta_2$	$\beta_1$	$\alpha$	R <sup>1</sup>
1 Lactancia Verano	2,91	0,36	0,0086	0,15	119,2	41,8	6,5	2,633E-10	-1,74544300E-07	4,19555379E-05	-4,3259929616E-03	1,593968401848E-01	3,555992670442	0,25
1 Lactancia Invierno	2,89	0,32	0,0096	0,14	85,8	33,7	6,1	1,850E-10	-1,21236500E-07	2,87874705E-05	-2,8922409968E-03	9,612444626270E-02	4,027749497082	0,22
2 Lactancia Verano	3,61	0,24	0,0073	0,30	82,1	33,8	6,1	3,140E-10	-2,03307819E-07	4,80537167E-05	-4,9429116347E-03	1,834812952566E-01	4,552402157394	0,40
2 Lactancia Invierno	3,90	0,25	0,0076	0,36	91,1	33,8	6,1	2,073E-10	-1,43205409E-07	3,61533029E-05	-3,9098185446E-03	1,422266531559E-01	5,265530276646	0,40
3 o más lactancias Invierno	3,98	0,20	0,0049	0,15	89,6	41,3	6,4	2,220E-10	-1,54955079E-07	3,92087970E-05	-4,2949169941E-03	1,756920252442E-01	4,514455270895	0,19
3 o más lactancias Verano	4,47	0,21	0,0072	0,25	77,6	29,8	6,0	2,831E-10	-1,85079150E-07	4,39684568E-05	-4,5324342049E-03	1,694593435784E-01	5,135021422795	0,27

(Fuente, Elaboración propia)

<sup>1</sup> Coeficiente de determinación ( $r^2$ )

<sup>2</sup> Días al Pico de producción.

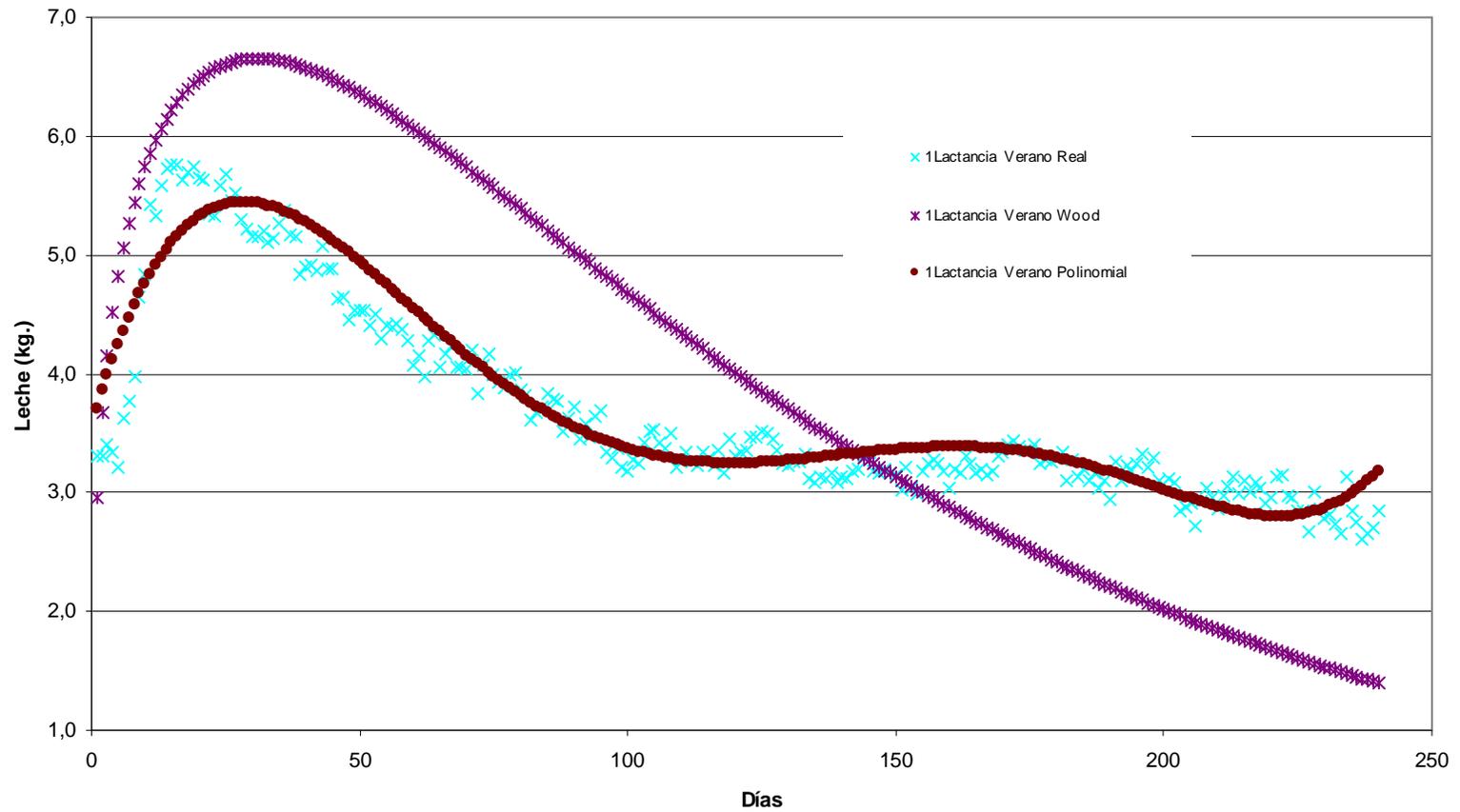
<sup>3</sup> Producción al pico en Kg.

<sup>4</sup> Persistencia.

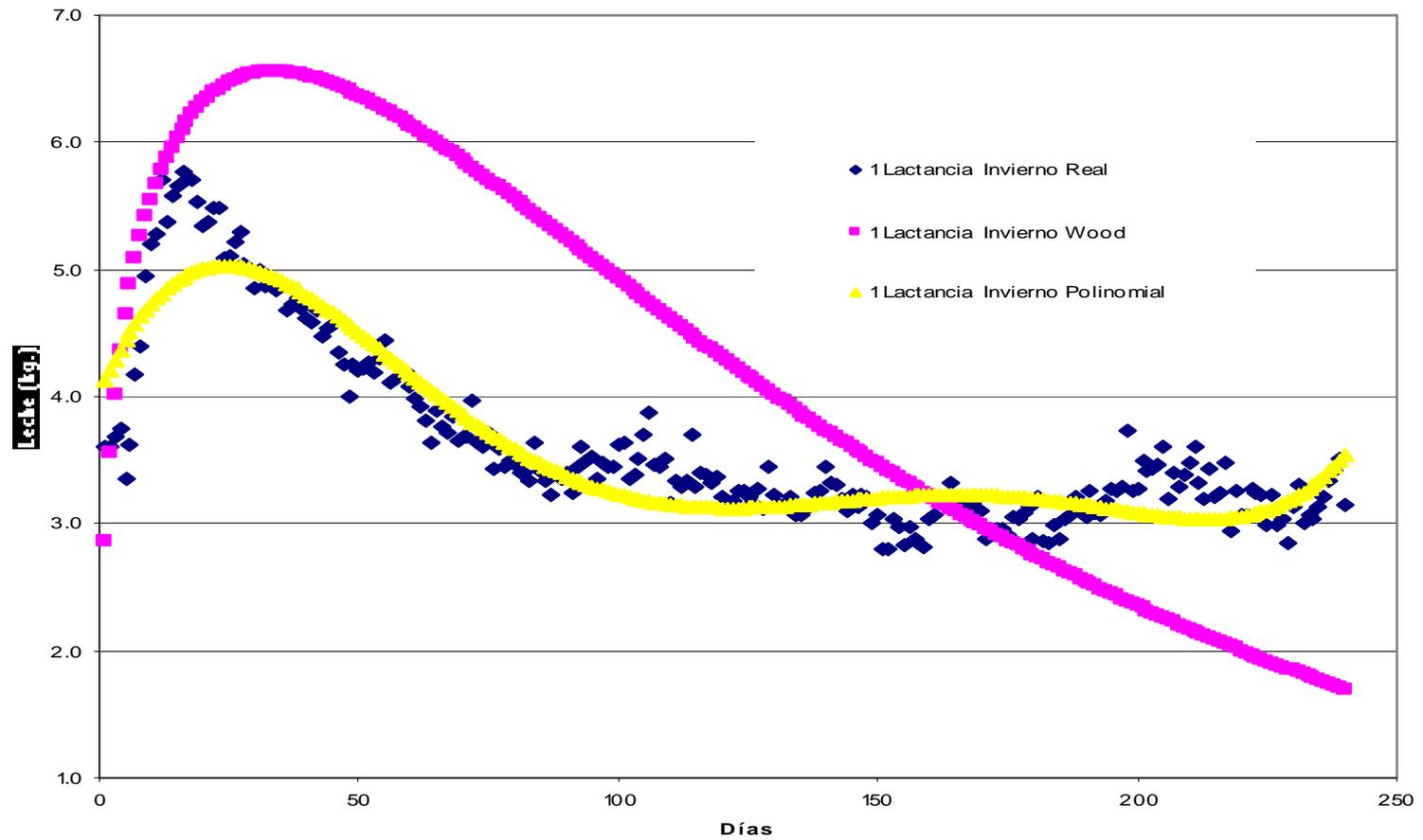
\*Verano 21 de septiembre al 20 de marzo

\*Invierno del 21 de marzo al 20 de septiembre

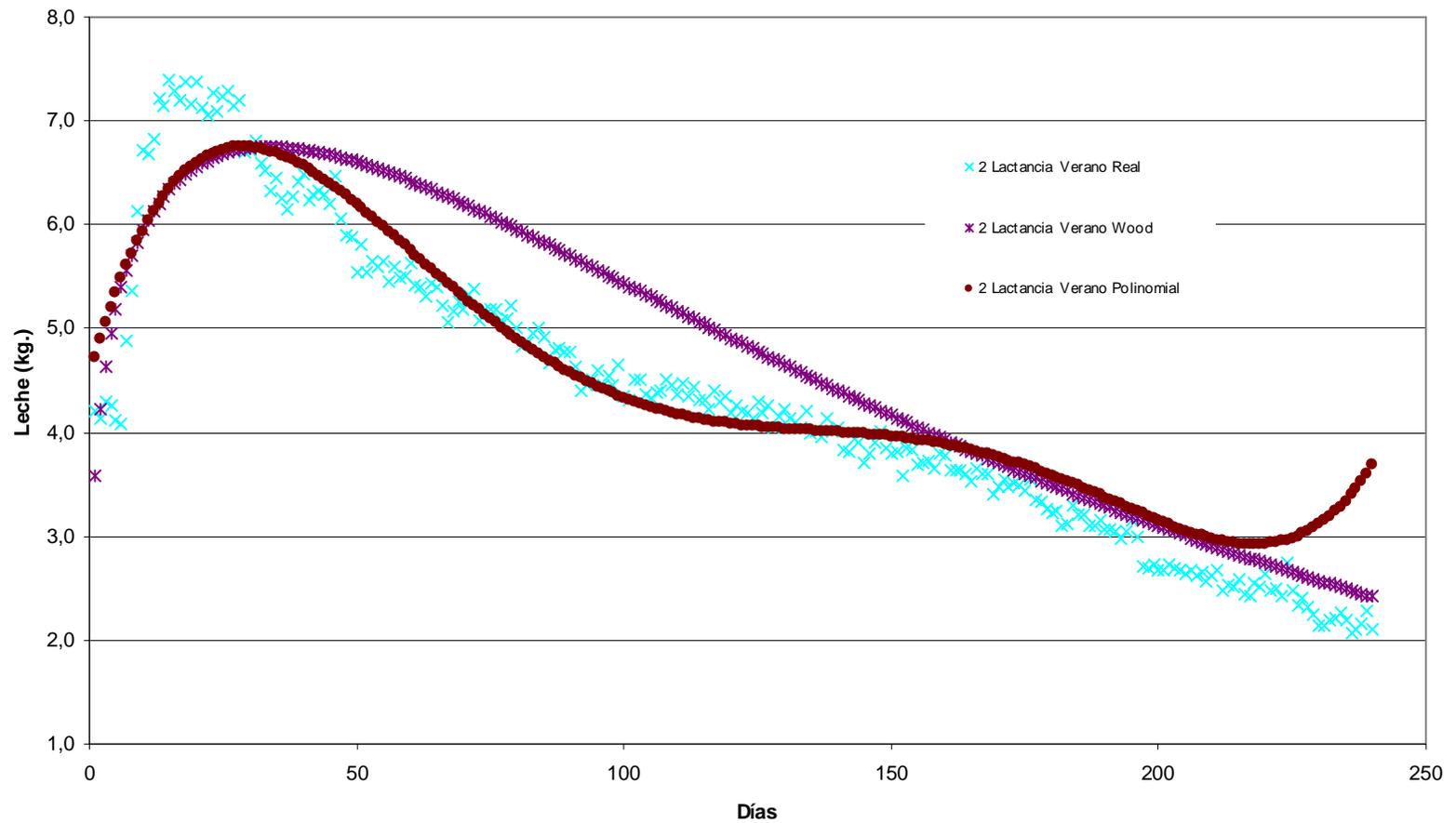
**Figura 5. Curva de primera lactancia de vacas Criollas de la EEAS, hasta el destete (240 días), periodo 2001-2005, época de verano.**



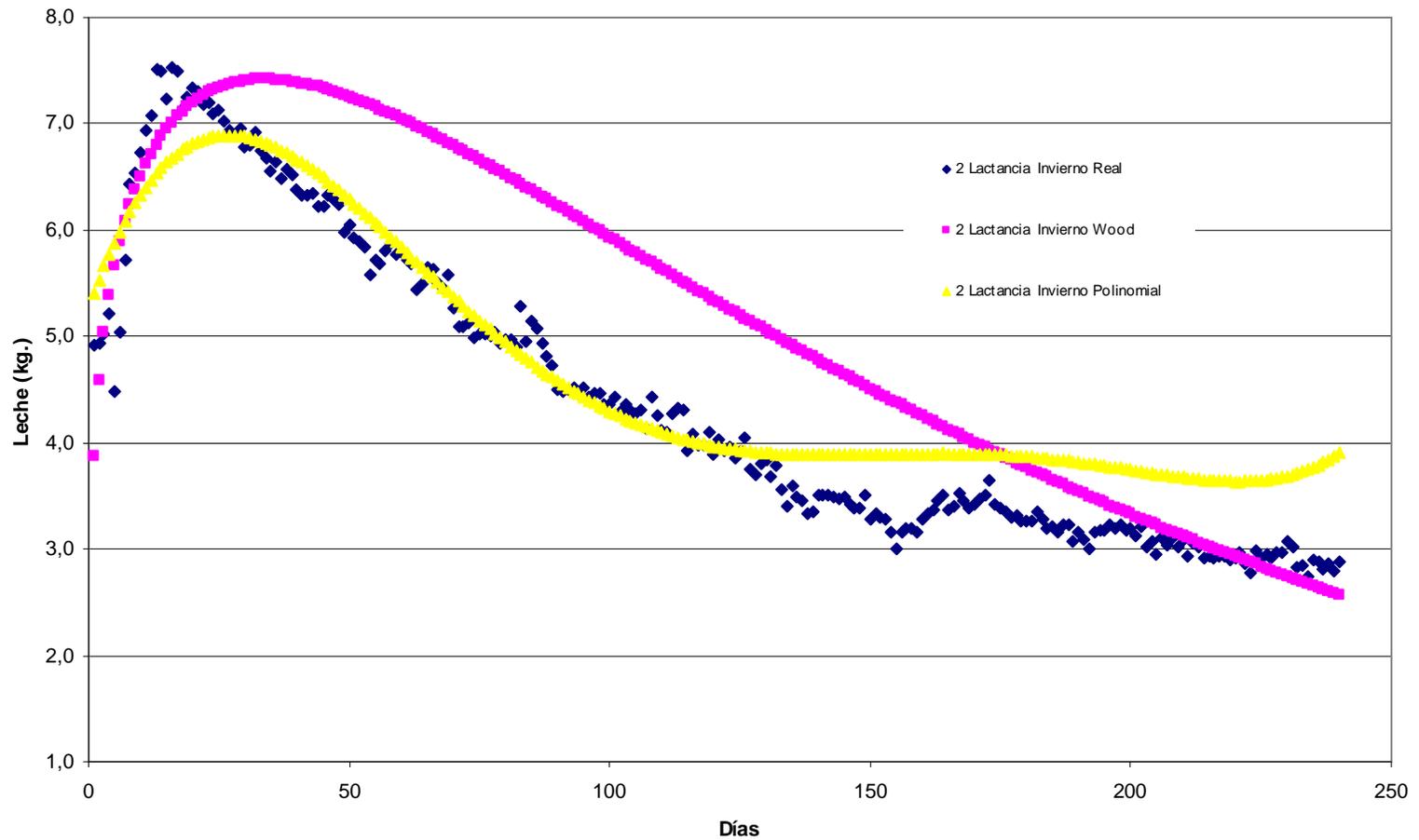
**Figura 6. Curvas de primera lactancia de vacas Criollas de la EEAS, hasta el destete (240 días), periodo 2001-2005, época de invierno.**



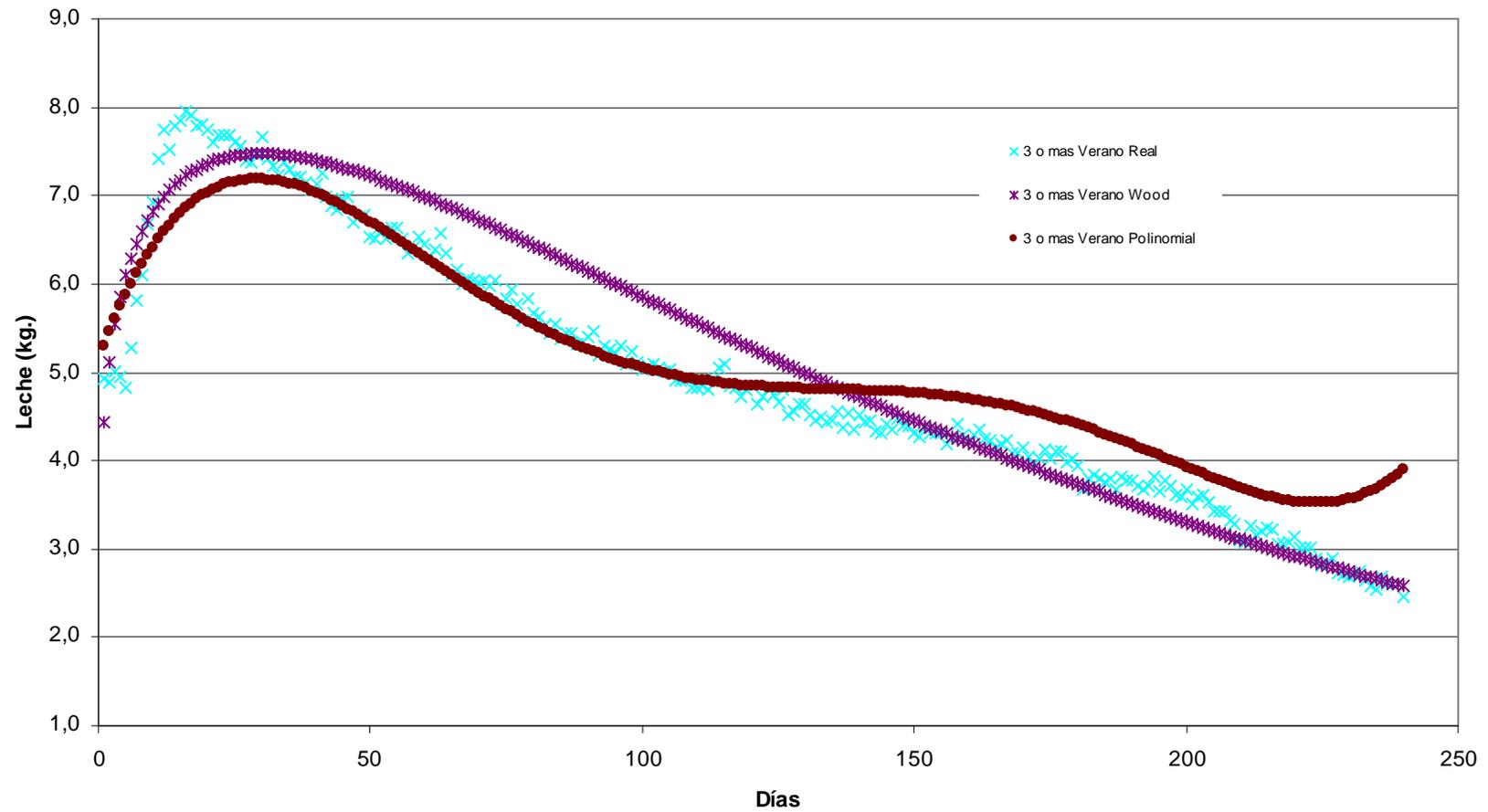
**Figura 7. Curvas de segunda lactancia de vacas Criollas de la EEAS, hasta el destete (240 días), periodo 2001-2005, época de verano.**



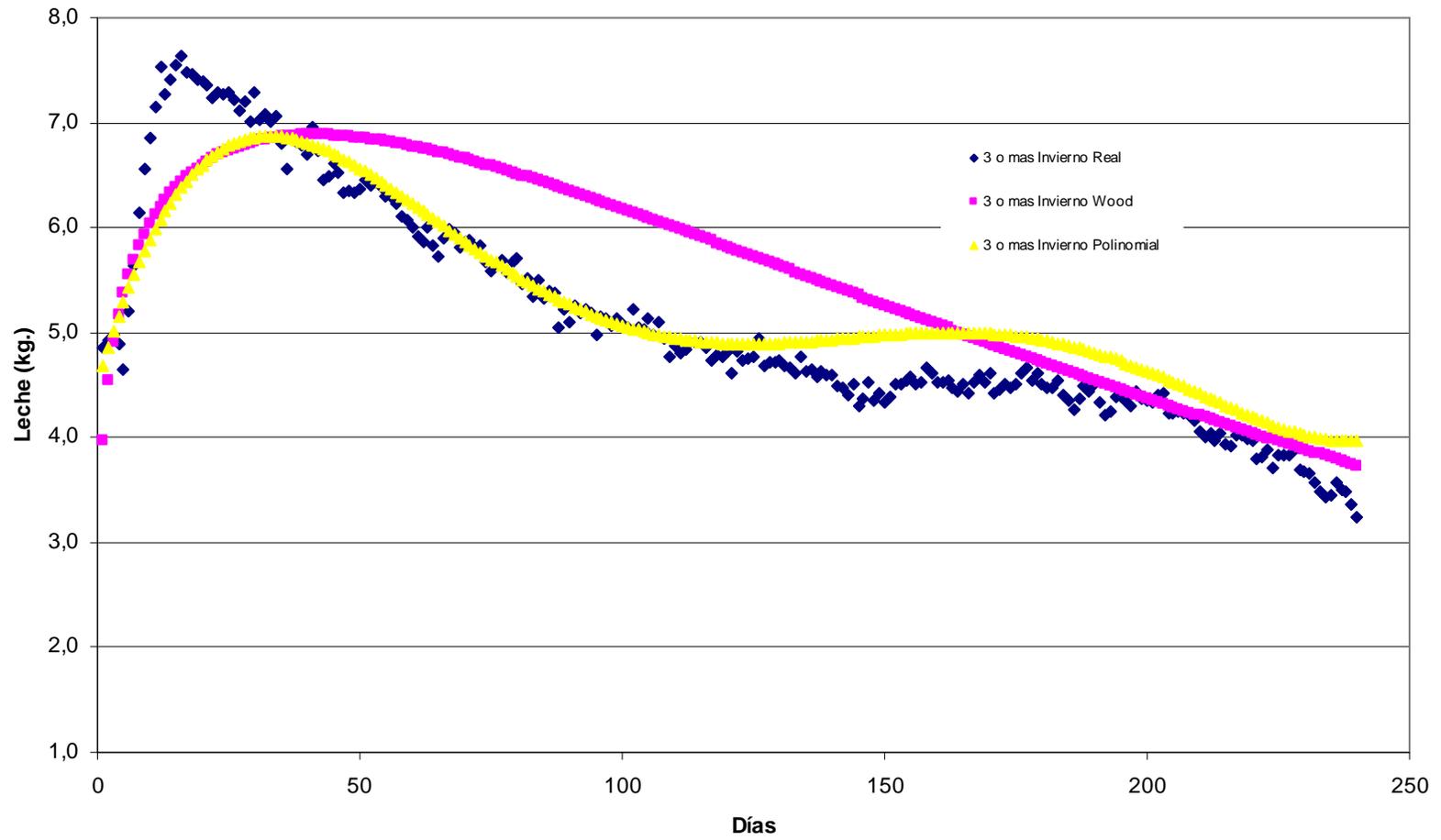
**Figura 8. Curvas de segunda lactancia de vacas Criollas de la EEAS, hasta el destete (240 días), periodo 2001-2005, época de invierno.**



**Figura 9. Curvas de Tercera o más lactancias de vacas Criollas de la EEAS, hasta el destete (240 días), periodo 2001-2005, época de verano.**



**Figura 10. Curvas de Tercera o más lactancias de vacas Criollas de la EEAS, hasta el destete (240 días), periodo 2001-2005, época de invierno.**



Si se desean comparar los resultados del presente trabajo, con los de otros trabajos desarrollados en climas templados (Wood, 1967, 1969, 1970; Kellog y Col., 1976; Cobby y Le Du, 1978; Scheneeborg, 1979; Ferris y Col., 1983) se puede observar que las curvas caracterizadas en dichos trabajos (trabajando con razas especializadas y en estabulación) presentan una fase de ascenso en la producción muy marcada, y a su vez, una fase de descenso más acentuada que la encontrada en el presente estudio. Esto está básicamente determinado por los valores de  $c$ , mayores en los estudios de zona templada (entre 0.03 y 0.06) que los obtenidos en el presente trabajo (entre 0.0036 y 0.0017), lo que implica una tasa de descenso más ligera a partir del pico de producción, que ya de por sí, es mucho menos pronunciado.

La curva de lactancia elaborada por Wood (1976), a partir de 600.000 lactancias de vacas Frisonas inglesas, registro un  $r^2$  de 0,90 (Rivera, 1997). En el estudio realizado, el mejor ajuste se encontró con un  $r^2$  de 0,40, que coincide con los estudios realizados en Brasil, donde se obtuvo un  $r^2$  de 0,50 mediante el modelo de Wood para ganado Holstein (Arango y Col., 2000). Las condiciones de homogeneidad de los sistemas europeos (clima y estirpe racial, por ejemplo), contrarias a los sistemas tropicales podrían explicar las diferencias observadas.

Los resultados obtenidos en los trópicos, indicarían, que las curvas de lactancia de los animales sujetos a estos ambientes son mucho más atenuadas. La explicación para esto sería de tipo nutricional. Las vacas bajo condiciones de pastoreo en los trópicos, llegan al parto con una condición corporal inferior a lo sugerido o esperado para aquellas que producen bajo estabulación y en climas templados. Bajo aquellas condiciones las vacas no cuentan con reservas corporales importantes (las cuales deberían acumularse durante el periodo seco de la vaca mediante alimentación adecuada), que pueden ser movilizadas para la producción de leche durante la primera parte de la lactancia, en donde el balance energético es negativo. Así, las vacas en ambientes de tropicales como las razas Criollas ponen en manifiesto su grado de adaptación, regulando el aumento de producción hasta el pico (parámetros  $a$  y  $b$  de la

curva), pero nunca a niveles tan altos como para comprometer su comportamiento reproductivo.

Por otro lado, al ser la curva de lactancia más aplanada en el caso de los animales criados en condiciones tropicales, convendría buscar el aumento en la producción de leche por lactancia mediante el alargamiento de la misma, ya que el largo de la lactancia es una de las características más críticas en los trópicos (Magdalena, 1988). Para hacer posible lo anterior habría que verificar si dicha característica cuenta con suficiente heredabilidad genética como para actuar sobre ella mediante selección.

Campos (1989), caracterizó las curvas de lactancia de las razas Criollo, Jérsy y sus cruces, encontró que existía una diferencia altamente significativa ( $P < 0,01$ ) para el rendimiento al pico de producción y para el grupo racial, ya que las vacas Criollas, a diferencia de otras razas europeas especializadas en producción de leche, después del pico de producción, cuando su capacidad de consumo se ve aumentada, sacrificarían mayor proporción de la energía del alimento para recuperar peso en relación a los demás grupos raciales y así aseguran un mejor comportamiento reproductivo, esto lo hacen bajando su nivel de producción después del pico en forma mucho más marcada, permitiendo que las vacas criollas entren al siguiente parto con mayores reservas corporales y un mejor comportamiento reproductivo.

## 5.6. SIMULACIÓN DE LA PRODUCCIÓN TOTAL DE LECHE

Para el modelo de Gamma incompleta se sumaron los valores de la producción diaria hasta los 240 días.

$$y_{240} = \sum_{t=1}^{240} \hat{a}t^{\hat{b}} e^{\hat{c}t}$$

Las producciones totales simuladas, utilizando la regresión Polinómica de quinto orden se determinaron mediante cálculo integral.

$$\int_0^{240} \alpha + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \beta_4 x^4 + \beta_5 x^5 dx = \alpha x + \frac{\beta_1 x^2}{2} + \frac{\beta_2 x^3}{3} + \frac{\beta_3 x^4}{4} + \frac{\beta_4 x^5}{5} + \frac{\beta_5 x^6}{6}$$

Las producciones totales fueron simuladas utilizando los coeficientes determinados, tanto para el modelo de Wood, como para el modelo Polinómico de quinto orden, el cuadro 7 presenta el total real, y las producciones simuladas, para ambos modelos, para cada uno de los grupos de vacas conformados.

Cuadro 7. Producción total real de leche (kg) y producciones totales de leche simulada (kg) , hasta el destete (240 días), utilizando el modelo de Wood y el modelo de regresión polinómica de quinto grado, para cada uno de los seis grupos de vacas conformados.

Nº DE LACTANCIA	ÉPOCA	PRODUCCIÓN REAL (Promedio)	PRODUCCIÓN ESTIMADA (kg) GAMMA INCOMPLETA (Promedio)	PRODUCCIÓN ESTIMADA (kg) POLINOMIAL (Promedio)	RELACIÓN PROMEDIO SIMULADO/OBSERVADO WOOD	RELACIÓN PROMEDIO SIMULADO/OBSERVADO POLINOMIAL
1º Lactancia	Verano	808.1323	903.8082	807.0663	1.1184	0.9987
	Invierno	748.6906	914.1820	747.7724	1.2210	0.9988
2º Lactancia	Verano	1043.6485	1112.4754	1043.6446	1.0659	1.0000
	Invierno	1059.2212	1185.6492	1059.2087	1.1194	1.0000
3º Lactancia	Verano	1226.6880	1296.7812	1226.6979	1.0571	1.0000
	Invierno	1196.5059	1212.5356	1196.6278	1.0134	1.0001

(Fuente, Elaboración propia)

Los resultados obtenidos indican que las producciones de leche de las vacas Criollas de la EEAS, pueden estimarse con un grado aceptable de confianza, para animales de primer, segundo y tercer o más partos, y con parto en verano (septiembre a febrero), e invierno (marzo a agosto), mediante los modelos matemáticos de Wood y Polinomial de quinto grado, siendo el modelo polinomial el que estima la producción lechera más aproximadamente.

## VI CONCLUSIONES

Se ha determinado que el promedio del periodo de lactación y producción de leche en los años 2001 – 2005, para el hato Criollo de la EEAS, es de  $223,9 \pm 2,2$  días y  $1079,8 \pm 23$  kg por lactancia, hasta el destete, el cual se realiza a los 8 meses; siendo los coeficientes de variación 32,26% y 15,24% para dichos parámetros.

Se demuestra un progreso productivo del hato de vacas Criollas de la EEAS, ya que el último estudio realizado durante el periodo 1990 – 1995, reporta un periodo de lactación  $236 \pm 2,5$  días y una media de producción de leche de  $1.060 \pm 8,9$  kg para lactaciones reales mayores a 305 días.

El modelo de Wood realiza la estimación de la producción de leche de las vacas Criollas con un mínimo de tres muestreos, con un grado aceptable de confianza, pero tiende a sobreestimar la producción lechera.

El modelo Polinomial presenta un mejor ajuste que el modelo de Wood, pero presenta el inconveniente de necesitar como mínimo cuatro muestreos, y tiende a subestimar la producción lechera.

El modelo Polinomial de quinto orden explica la curva de lactancia de vacas Criollas de la EEAS con mayor aproximación, pero se observa la necesidad de evaluar otros modelos matemáticos donde se consideren los factores no genéticos, y otras fuentes de variación individual para cada animal para realizar un análisis más dinámico de los sistemas de producción de leche.

Se demuestra la importancia económica y social del ganado Criollo Saavedreño, ya que cumple su función de ser una raza doble propósito y capaz de destetar un ternero y producir leche adicional para consumo humano, bajo condiciones de pastoreo a campo y sin suplementación.

## VII BIBLIOGRAFÍA

**ABREU, F. O. y Col. 1977.** El ganado Venezolano puro y mestizado en la producción de leche y carne. FONAIAP – CIARZU. Boletín técnico N° 1. pp. 32 – 36.

**ABREU, O. S. 1972.** Efectos de algunos factores ambientales y fisiológicos sobre la producción de leche en vacas Limoneras. Agronomía Tropical. pp. 579 – 586.

**APODACA, C. A. 2000.** Efecto de Mes Sobre la Producción Diaria de Leche y su Impacto Sobre la Curva de Lactancia en el Trópico Húmedo. Disponible en World Wide Web:

<http://www.ammveb.net/BIBLIOTECA/congreso/XXVIII%20CNB/memorias/genetica/gen05.htm>

**ARANGO, J. P. 2000.** Aplicación de un Modelo Múltiple de Curva de Lactancia para Vacas Lecheras. Disponible en World Wide Web: <http://www.inia.cl/at/espanol/v62n4/ART03.htm>

**BLANCO, M. 2001.** Parameters of the Lactation Curve of Jersey Cattle. Disponible en World Wide Web: <http://www.congresocbta.unam.mx/PA03.htm>

**BODISCO, V. y Col. 1966.** Influencia de la Estación Climática sobre la Producción de vacas Criollas lecheras. ALPA. Memoria 1. pp. 141 – 153.

**CAMPOS, S. M. 1989.** Caracterización de la Curva de Lactancia y Utilización de Registros Parciales en Genotipos Lecheros Bajo Condiciones del Trópico Húmedo. pp. 52–70.

**CARVAJAL, H. M. 2002.** Duración de la Lactancia y Producción de Leche de Vacas Holstein en el estado de Yucatán, México. Disponible en World Wide Web:

[http://scielomx.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188493X2002000100004&lng=es&nrm=io](http://scielomx.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188493X2002000100004&lng=es&nrm=io)

**CUNNINGHAM, J. G. 1997.** Fisiología Veterinaria. Segunda Edición. Editorial McGraw- Hill Interamericana. México D. F. – México. pp. 552, 553.

**DIACK, A. 2004.** Lactation performance on-station of F1 crossbred cattle in The Gambia. Disponible en World Wide Web:

[www.cipav.org.co/lrrd/lrrd17/12/diac17140.htm](http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd17/12/diac17140.htm)

**ESMINGER, H. 1975.** Producción bovina para carne. Segunda Edición. Editorial Ateneo. Buenos Aires – Argentina. pp. 130 – 132.

**GUZMAN, G. C. 1991.** Variación del Rendimiento de Leche, Grasa, Proteína y Sólidos Totales en la Raza Holandesa en las Cabañas Todos Santos Paz y El Prado. pp. 5-19.

**KELLOG, W. S. 1976.** Estimating Holstein Lactation Curves whit Gamma Curve. Journal of Dairy Science. Vol. 60, No 8, 1977. pp. 1308-1315.

**LOPEZ, B. B. 1995.** Estimación de Parámetros Genéticos que Caracterizan el Modelo Matemático que Mejor Explica la Curva de Lactación en Vacas F1 Holstein-Cebú en la Zona Tropical. pp. 1-55. Disponible en World Wide Web:

<http://www.geocities.com/capecanaveral/galaxy/4683/numer500.htm>

**MORAES, G. T. 2002.** Curvas de Lactação em Rebanhos da Raça Holandesa no Estado de Minas Gerais. Escolha do Modelo de Melhor Ajuste. Disponible en World Wide Web:

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-35982002000700011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982002000700011&lng=en&nrm=iso)

**MOLLEVI, T. M. 1991.** La Vaca de Leche y el Ternero de Carne. Editorial Aedos. Barcelona – España. pp. 180.

**NOGUEIRA, A. E. 1994.** Comportamiento Productivo de un Rebaño Mestizo Indefinido en el Sur del Lago de Maracaibo. Disponible en World Wide Web:

<http://www.ceniap.gov.ve/bdigital/ztzoo/zt1201/texto/comportamiento.htm>

**PEDRAZA, G. y Col. 2001.** Aplicación de un Modelo Múltiple de Curva de Lactancia para Vacas Lecheras. Agric. Téc. [online]. oct. 2002, Vol. 62, No.4, pp.509-518. Disponible en la World Wide Web:

[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S03652807200200040000&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S03652807200200040000&lng=es&nrm=iso). ISSN 0365-2807.htm

**PEREIRA, J. A.** Sistemas de Cruzamiento Lechero en el Trópico Boliviano. Centro Nacional de Mejoramiento Genético Bovino. pp. 1– 20.

**PETERS, A. R. 1991.** Producción del Ganado vacuno. Editorial Acribia. Zaragoza – España.

**QUINN, N. 1998.** The Factors Affecting the Lactation Curve of Irish Dairy Cows. pp.22

**RAMIREZ, V. R. 2004.** Comparación de ecuaciones para estimar curvas de lactancia con diferentes estrategias de muestreo en bovinos Angus, Suizo y sus cruza. Disponible en World Wide Web:

[http://www.ejournal.unam.mx/vet\\_mex/vol35-03/RVM35303.pdf](http://www.ejournal.unam.mx/vet_mex/vol35-03/RVM35303.pdf)

**RAMIREZ, V. R. 2004.** Análisis Preliminar de Curvas de Lactancia en el Búfalo de Agua (*Bubalus bubalis*) en la Zona Sur del Estado Táchira, Venezuela  
Disponible en World Wide Web:

[www.alpa.org.ve/ojs/include/getdoc.php?id=335&article=321&mode=pdf](http://www.alpa.org.ve/ojs/include/getdoc.php?id=335&article=321&mode=pdf)

**RIVERA J. 1997.** Producción bovina para leche. Universidad de Nariño. pp. 137

**RODRÍGUEZ, Z. A. 2005.** Modelos de Ajuste para Curvas de Lactación de Vacas en Crianza Intensiva en la Cuenca de Lima. Disponible en World Wide Web:

<http://www.geocities.com/capecanaveral/galaxy/4683/numer500.htm>

**ROJAS, F. 1986.** Influencias de factores genéticos y del medio, características productivas y reproductivas, en dos rebaños lecheros en el departamento de Santa Cruz – Bolivia. pp. 20 – 26.

**ROMERO, I. R. 1998.** Comportamiento de un Hato Bovino Criollo (1990-1995) en la Provincia Obispo Santiesteban. pp. 4-44.

**SILVESTRE, A. 2000.** Curvas de Lactação em Bovinos Leiteiros. pp. 1-2

**SHAEFFER y Col, 1996.** Multiple-Trait Prediction of Lactation Yields for Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* Vol. 79, No. 11, 1996. pp. 2044-2054.

- URIBE, A. H . 2001.** Modelando el Día de Control: Nueva Técnica Estadística en Evaluación Genética de Ganado Bovino Lechero. Disponible en World Wide Web: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0365-28072001000400012&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0365-28072001000400012&script=sci_arttext)
- VACARO, R. 1999.** Curvas de Lactancia en Vacas Carora y Cruzadas Holstein Friesian X Braman. pp. 5-43.
- VERA, V. R. 2003.** Efecto de la Tasa de Preñez Sobre los Principales Indicadores Reproductivos, Productivos y Económicos en una Lechería de Los Ángeles, octava región. Disponible en World Wide Web: [www.uc.cl/agronomia/d\\_investigacion/TesisMagister/PDF/VeraRuben.pdf](http://www.uc.cl/agronomia/d_investigacion/TesisMagister/PDF/VeraRuben.pdf)
- WILKINS, J. y Col. 1992.** Selección y Mejoramiento de la Raza Bovina Criolla. pp. 1-9.
- WACHTEL, B. E. 1995.** Evaluación de la Producción de Leche de un Hato de Raza Holandesa y otro de Raza Criolla. pp. 4-11.
- ZEGARRA, J; y Col. 1993.** Sistema de Producción de Leche en Base a Pastoreo Intensivo en la Costa de Arequipa, Perú: Modelo de Simulación. pp. 1-10.