



01674

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD
ANIMAL

COMPONENTES DE VARIANZA Y CURVAS DE CRECIMIENTO
EN CIERVO ROJO (*Cervus elaphus scoticus*)

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO
DE MAESTRO EN CIENCIAS

P R E S E N T A

ANA CARMEN DELGADILLO CALVILLO

T U T O R

CARLOS G. VÁSQUEZ PELÁEZ

C O M I T É T U T O R A L

HUGO H. MONTALDO VALDENEGRO

ERNESTO GUZMÁN NOVOA

México D.F.

2005

m 345705



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Ana Palmen
Delgadillo Calb. Ho

FECHA: 15 Julio 2009

FIRMA: AA

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, por haberme permitido realizar mis estudios de posgrado.

Al Dr. Carlos Vásquez Peláez por su confianza, comentarios y apoyo para mi desarrollo profesional y la realización de esta investigación.

Al Dr. Hugo H. Montaldo Valdenegro por sus comentarios, enseñanzas y dedicación para llevar a cabo un buen trabajo de investigación.

A los Dres. Rafael Núñez Domínguez, José Manuel Berruecos Villalobos y Ernesto Guzmán Novoa, que fungieron como comité asesor, y jurado examinador, por sus comentarios y sugerencias para la realización de este trabajo de investigación.

Mi mas profundo agradecimiento al M. en C. Reyes López Ordaz por su gran apoyo, paciencia, dedicación, enseñanzas y amistad.

Al Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENID-FyMA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y muy en especial a la M.V.Z., M.C. América Luna por todas las facilidades para la obtención de los datos.

DEDICATORIAS

A mis padres y Hermano por todo su apoyo, esfuerzo, confianza, paciencia y cariño recibido para salir siempre adelante.

A Mauricio Zarco Flores por su paciencia, confianza, amor y apoyo para lograr mis sueños.

A mis amigos Reyes, Karina, Sergio, Lety, Renée, Lupita, Sor, gracias por contar con su amistad.

A mis tías Ana Luisa y Lourdes por el cariño que siempre recibo.

A mis primos Ana Fer y Luis Fer, con mucho amor.

COMPONENTES DE VARIANZA Y CURVAS DE CRECIMIENTO EN CIERVO
ROJO (*Cervus elaphus scoticus*)

ÍNDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT	iii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
Curvas de crecimiento	4
Parámetros genéticos	5
Metodologías de estimación de parámetros genéticos	8
III. OBJETIVOS	10
IV. CONCLUSIONES GENERALES	11
V. ARTÍCULOS PRODUCTO DE ESTA INVESTIGACIÓN	12
V.I. Caracterización de la curva de crecimiento del ciervo rojo (<i>cervus elaphus scoticus</i>) hasta los 800 días en un ható de México	13
Resumen	14
Introducción	15
Materiales y Métodos	16
Resultados	17
Discusión	18
Conclusión	20
Referencias	21
Cuadro 1	24
Cuadro 2	25
Figura 1	26
Figura 2	27
Figura 3	28

V.II. Componentes de varianza genéticos, directos y maternos para características de crecimiento en ciervo rojo (<i>cervus elaphus scoticus</i>)	29
--	----

Resumen	30
Introducción	32
Materiales y Métodos	33
Resultados	36
Discusión	37
Conclusión	40
Referencias	41
Cuadro 1	44
Cuadro 2	45

VI. REFERENCIAS GENERALES	46
---------------------------	----

COMPONENTES DE VARIANZA Y CURVAS DE CRECIMIENTO EN CIERVO ROJO (*Cervus elaphus scoticus*)

RESUMEN

Los objetivos del presente estudio fueron caracterizar la curva de crecimiento y estimar componentes de varianza genéticos directos y maternos, para algunas características de crecimiento en el ciervo rojo (*Cervus elaphus scoticus*). La información se obtuvo del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENID-FyMA), del Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria (INIFAP) en Ajuchitlán, Qro. La curva de crecimiento se estimó a partir de pesos bimestrales desde el nacimiento hasta los 800 días, de 240 ciervos nacidos entre 2000 y 2002. Se utilizaron seis modelos con los pesos sin ajustar dentro de sexo para obtener curvas de crecimiento las cuales fueron comparadas a través de los siguientes criterios: coeficiente de determinación (R^2), cuadrado medio del error (CME), y el estadístico Cp de Mallows's (Cp). Un modelo no lineal de cinco parámetros y la regresión polinomial hasta el efecto cúbico se ajustaron a los datos de crecimiento de una forma puramente matemática, mientras que los modelos Brody, Von Bertalanffy, Richards y Gompertz, que toman en cuenta la forma biológica de la curva, con base a estos modelos el peso a la madurez variaron de 63 a 69 kg en hembras y de 105 a 130 kg en machos. El modelo de Brody no determina la edad a al peso maduro. Los resultados sugieren al modelo de Brody como el más adecuado para caracterizar la curva de crecimiento en este estudio, de acuerdo a los criterios de comparación y la curva. La estimación de los parámetros genéticos, se realizó de los ciervos nacidos entre 1994 y 2003, incluyendo 417 registros de peso al nacimiento (PN), 169 de peso al destete (PD), 168 de peso a los seis meses (P6M) y 172 de peso al año (PA), con información genealógica de 11 sementales y 107 hembras. Se utilizaron tres modelos mixtos: el primero incluyó los efectos fijos sexo de la cría (SX), año de nacimiento (AN) y número de parto (NP) y el

efecto genético aditivo directo; el segundo modelo incluyó además el efecto genético materno; y en el tercero, se adicionó el efecto del ambiente permanente materno. Los componentes de varianza fueron estimados por el Método de Máxima Verosimilitud Restringida (REML) con el programa ASREML. Las heredabilidades totales ($h^2_t \pm e.e.$) en el primer modelo fueron 0.33 ± 0.11 , 0.40 ± 0.22 y 0.05 ± 0.12 para PN, PD y P6M respectivamente. Las $h^2_d \pm e.e.$ (directas) en el segundo modelo fueron de 0.11 ± 0.09 y 0.19 ± 0.18 para PN y PD respectivamente, mientras que las $h^2_m \pm e.e.$ (maternas) fueron 0.15 ± 0.06 y 0.14 ± 0.11 . Las h^2_d en el tercer modelo fueron de 0.12 ± 0.09 y 0.19 ± 0.18 para PN y PD respectivamente, mientras que las h^2_m fueron 0.01 ± 0.13 y 0.14 ± 0.11 . La varianza de efectos ambientales permanentes maternos ($c^2 \pm e.e.$) para las características PN, PD y P6M fueron 0.14 ± 0.13 , 0 ± 0 y 0.06 ± 0.23 respectivamente. Las correlaciones genéticas entre el efecto aditivo directo y materno (r_g) fueron de -0.21 ± 0.29 , -0.92 ± 0.11 y -0.84 ± 0.20 para PN, PD y P6M respectivamente. Los componentes de varianza y los parámetros estimados para las características de crecimiento: PN y PD muestran variación genética aditiva directa y materna, por lo que pueden ser consideradas en programas de mejoramiento genético para el ciervo rojo.

PALABRAS CLAVE: Curvas de crecimiento, parámetros genéticos, efecto genético aditivo y materno, ASREML, ciervo rojo.

VARIANCE COMPONENTS AND GROWTH CURVES IN THE RED DEER (*Cervus elaphus scoticus*)

ABSTRACT

The objectives of this study were to characterize the growth curve and to estimate genetic, direct and maternal variance components for some growing characteristics of the red deer (*Cervus elaphus scoticus*). The information was obtained from the Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENID-FyMA) from Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria (INIFAP) in Ajuchitlán, Qro. The growth curve was estimated on the basis of bimonthly weights from birth to 800 days born, in 240 deer, born between 2000 and 2002. Six models with the unadjusted weights in sex were used, so as to obtain growth curves, which were compared with the following criteria: coefficient of determination (R^2), error mean square (CME) and Mallows Cp statistic (Cp). A five parameter, non-linear model and the polynomial regression to the cubical, were adjusted to the growth data in a purely mathematical way. While the Brody, Von Bertalanffy, Richards and Gompertz models take into account the biological form of the curve. On the basis of these models, growth and maturity went from 63 to 69 kg in females and from 105 to 130 kg in males. Brody's model does not determine age towards mature weight. The results suggest that Brody's model is the most adequate for characterizing the growth curve in this study, according to the curve and comparison criteria. The genetic parameter estimation was done in deer born between 1994 and 2003, including 417 registers of weight at birth (PN), 169 of weaning weight (PD), 168 of weight 6 months (P6M), and 172 of weight yearling (PA), with genealogical information of 11 stags and 107 hinds. Three mixed models were used: the first included the fixed effects sex of the offspring (SX), year of birth (AN) and birth number (NP) and the direct additive genetic effect, the second one included, furthermore, the mother genetic effect, and the mother permanent effect was added to the third one. Restricted Maximum Likelihood (REML) with the

ASREML program estimated variance components. The total heritability ($h^2_t \pm \text{e.e.}$) in the first model were 0.33 ± 0.11 , 0.40 ± 0.22 y 0.05 ± 0.12 for PN, PD and P6M, respectively. The $h^2_d \pm \text{e.e.}$ (directs) in the second model, where of 0.11 ± 0.09 y 0.19 ± 0.18 for PN and PD, respectively, while the $h^2_m \pm \text{e.e.}$ (from the mother) were 0.15 ± 0.06 and 0.14 ± 0.11 . The h^2_d in the third model where of 0.12 ± 0.09 y 0.19 ± 0.18 for PN and PD respectively, while the h^2_m were of 0.01 ± 0.13 y 0.14 ± 0.11 . The variance of the maternal permanent environmental effects ($c^2 \pm \text{e.e.}$) for the PN, PD y P6M characteristics were of 0.14 ± 0.13 , 0 ± 0 y 0.06 ± 0.23 respectively. The genetic correlations between the direct additive effect and maternal (r_g) where of de -0.21 ± 0.29 , -0.92 ± 0.11 y -0.84 ± 0.20 for PN, PD and P6M respectively. The variance components and the estimated parameters for the growth characteristics: PN and PD, show maternal and direct additive genetic variation, for instance, they might be consider in programs breeding for the red deer.

KEY WORDS: Growth curves, genetic parameters, maternal and direct additive effect, ASREML, red deer.

I. INTRODUCCIÓN

La producción de ciervo rojo (*Cervus elaphus*) se inició en Australia y Nueva Zelanda a principios de la década de 1970, como una alternativa no tradicional de producción, siendo la carne el principal producto derivado de esta especie. Dentro de las características de la carne de ciervo, destacan sus bajos niveles de grasa y colesterol, 22% de grasa, comparada con el 35 al 47% en cordero y el 33% en bovino (Haigh y Hudson, 1993; Yerex y Spiers, 1991). Otro producto de esta especie es el recubrimiento de las astas llamado velvet, con importancia comercial en el mercado asiático para la industria farmacéutica. El ciervo rojo es considerado una especie de importancia cinegética, debido a su cornamenta, por lo que actualmente ocupa una posición privilegiada en las actividades cinegéticas de Europa.

Las características de crecimiento del nacimiento al destete, están determinadas no solamente por el potencial genético del individuo, sino también por el ambiente materno. La caracterización de la curva de crecimiento, ayuda a describir el crecimiento de un grupo de animales, dentro de un ambiente y un sistema de manejo en particular. Estos modelos pueden ser usados para determinar la importancia relativa de los factores que afectan la eficiencia en la producción (Menchaca *et al.*, 1996).

En 1994 se introdujo a México por parte del Gobierno Federal, un lote de 900 hembras y 50 machos de ciervo rojo provenientes de Nueva Zelanda, con la intención de aprovecharlos en la producción de carne. Este lote fue distribuido en diferentes instituciones de investigación y educación del país. Debido a que la industria del ciervo rojo es relativamente nueva en México, la información de su comportamiento es escasa. En México no se han establecido criterios y objetivos de selección para las características económicamente importantes. La estimación de los componentes de (co)varianza y parámetros genéticos para las

características de crecimiento y el conocimiento de las características de las curvas de crecimiento, ayudarán a establecer programas de mejoramiento genético. Por lo anterior, los objetivos de este estudio fueron estudiar las curvas de crecimiento y estimar los componentes de varianza y parámetros genéticos de las características de crecimiento, como ayuda para el establecimiento de programas de mejoramiento genético de esta especie en México.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

El ciervo rojo es originario de Inglaterra, y se estima que hace unos 400,000 años, esta especie comenzó a configurarse con sus características, actualmente se distribuye por toda Europa (De Vos, 1982). El tamaño de las astas en el macho no depende exclusivamente de la edad, también existen otros factores como la herencia, estado de salud y alimentación del animal. La hembra carece de astas (Haigh y Hudson, 1993). El ciervo puede alcanzar los 20 años, aun cuando la media es de 5 ó 6 años. Es una especie poliéstrica estacional; la época de celo se presenta de septiembre a octubre, teniendo una duración de la gestación de 234 días y así, la época de parto se presenta de mayo a julio (De vos, 1982; Olvera, 2001). El número de crías por parto es generalmente una, las cuales en condiciones productivas son destetadas a los 3 meses de edad. El principal producto de esta especie es la carne. Tiene un rendimiento en la canal de 55 a 60% y se considera tipo magro (Haigh y Hudson, 1993). En Europa, el ciervo rojo es fundamentalmente una especie cinegética, por lo que parte de la producción está orientada a obtener ejemplares con cornamentas más desarrolladas (Arribal, 2004; Haigh y Hudson, 1993; Yerex y Spiers, 1991). El velvet o recubrimiento de las astas, es un subproducto utilizado en el mercado oriental de medicamentos alternativos.

El crecimiento se puede definir como el aumento en peso, talla y cambios en la composición corporal de un animal en un periodo de tiempo determinado, éste depende del genotipo y de efectos ambientales, permanentes y temporales que han afectado el desarrollo del animal (Blasco, 2004; Menchaca *et al.*, 1996).

En los sistemas de producción de carne, la caracterización del patrón de crecimiento en un ambiente y un sistema de manejo definidos, permite evaluar algunos factores que afectan la producción y la eficiencia.

CURVAS DE CRECIMIENTO

La curva de crecimiento refleja la relación que existe entre el peso (P) de un individuo y la edad (x) en que dicha observación fue tomada, expresada a partir de la función $P=f(x)$. Esta función debe tener una representación matemática y una explicación biológica adecuada (Brown *et al.*, 1976.). Estos patrones o curvas y su estimación a partir de diferentes funciones (Behr *et al.*, 2001; Brown *et al.*, 1976; Fitzhugh, 1976; Huisman *et al.*, 2002) han sido ampliamente discutidos en la literatura en animales domésticos (Archer *et al.*, 1998; Behr *et al.*, 2001; DeNise y Brinks, 1985; Kaps *et al.*, 2000; López de Torre *et al.*, 1992; Menchaca *et al.*, 1996; en ganado bovino; Bathaei y Pascal, 1998 en ovinos; Huisman *et al.*, 2002 en cerdos; Mignon-Grasteau *et al.*, 2000 en pollos; López *et al.*, 2000 en peces; y Landete-Castillejos *et al.*, 2001 en Ciervo rojo Ibérico).

De acuerdo con Fitzhugh (1976) los modelos no lineales que toman en cuenta la forma biológica de la curva, pueden generalizarse como $y=f(x): y= A(1- be^{-kx})^M$ donde **y** es el peso corporal a una determinada edad (**x**); **A** es el peso a la madurez; **b** es un parámetro de escala establecido por los valores iniciales de **y** y de **x**; **k** es la tasa de madurez; **e** es el logaritmo natural y **M** establece el grado de madurez al punto de inflexión. Estas funciones son: la propuesta por Brody ($y= A(1-be^{-kx})$) la cual no considera el punto de inflexión; la de Von Bertalanffy ($y= A(1- be^{-kx})^3$) la cual fija el punto de inflexión y se basa en el grado de la madurez; la de Gompertz ($y= A \exp(-be^{-kx})$) la que fija el punto de inflexión; y la de Richards ($y=A(1+ be^{-kx})^M$), con un valor M o punto de inflexión, fijo o no.

La estimación de las curvas de crecimiento es una herramienta para medir la eficiencia en la producción de carne (Brown *et al.*, 1976; Fitzhugh, 1976).

Por otro lado, en los cérvidos se han reportado resultados en diferentes especies o subespecies. Uchida *et al.* (2001), utilizando al venado sika (*Cervus nippon*) en

cautiverio, reportaron un crecimiento similar entre machos y hembras hasta los tres meses de edad y a partir del cuarto mes los machos mostraron una velocidad de crecimiento más acelerada. Landete-Castillejos *et al.* (2001) estudiaron el crecimiento en el ciervo rojo ibérico (*Cervus elaphus hispanicus*) del nacimiento hasta las 34 semanas de edad, observando ganancias diarias de pesos mayores en los machos que en las hembras. Mc Manus (1993), en Escocia con ciervo rojo (*Cervus elaphus scoticus*), informó pesos al nacer entre 8.32 y 9.39 kg y de 32.21 a 51.19 kg al destete.

PARÁMETROS GENÉTICOS

El mejoramiento genético en las poblaciones animales para la producción de carne requiere del conocimiento de los componentes de varianzas y covarianzas directas y maternas, así como de los parámetros genéticos y fenotípicos de las características de crecimiento. Los efectos genéticos que intervienen en la tasa de crecimiento del nacimiento al destete en mamíferos, son principalmente aditivos directos y aditivos maternos (Meyer, 1994).

Existen diferentes efectos ambientales como son el sexo de la cría, año de nacimiento, época de parto y número de parto de la hembra, que pueden influenciar a las características de crecimiento (Meyer, 1992 y 1994; Domínguez *et al.*, 2003; Naser *et al.*, 2001; Maniatis y Pollott, 2003; Naser *et al.*, 2001). También pueden existir efectos del ambiente permanente materno.

La varianza fenotípica de una característica está constituida por la suma de los componentes de la varianza de los efectos genéticos aditivos directos y maternos, de la varianza debida a los efectos ambientales y la varianza residual que representa a los efectos no conocidos, representándola de la siguiente forma (Willham, 1972):

$$\sigma_f^2 = \sigma_a^2 + \sigma_m^2 + \sigma_{am} + \sigma_p^2 + \sigma_e^2$$

σ_f^2 = varianza fenotípica de las características de crecimiento

σ_a^2 = varianza de los efectos genéticos aditivos directos

σ_m^2 = varianza de los efectos genéticos aditivos maternos

σ_{am} = covarianza genética entre efectos aditivos directos y maternos

σ_p^2 = varianza de los efectos de ambiente permanente materno

σ_e^2 = varianza de los efectos residuales

El efecto genético aditivo directo, es la porción de los efectos de los genes que se transmite de los padres a su progenie (Falconer y Mackay, 2001).

El efecto genético aditivo materno, representa la capacidad genética que tiene la madre para influir en el desarrollo de las crías, (Wilham, 1972). Actualmente se incluye el efecto materno en los modelos para la estimación de los parámetros genéticos para poder determinar la contribución del efecto materno sobre las características de crecimiento (Falconer y Mackay, 2001).

Los parámetros genéticos se estiman a partir de la partición de la σ_f^2 en sus diversos componentes.

La heredabilidad total (h^2_t) se define como el cociente entre la varianza genética aditiva total σ_t^2 ($\sigma_t^2 = \sigma_a^2 + \sigma_m^2 + \sigma_{am} + \sigma_p^2$) y la varianza fenotípica σ_t^2 / σ_f^2 , en modelos animales que no incluyen los efectos genéticos aditivos maternos, mientras que la heredabilidad directa (h^2_d) se define como el cociente entre la varianza genética aditiva directa y la varianza fenotípica σ_a^2 / σ_f^2 y la heredabilidad materna (h^2_m) se define como el cociente entre la varianza genética aditiva

materna y la varianza fenotípica σ_m^2 / σ_f^2 , a partir de modelos que incluyen ambos componentes (Van Vleck *et al.*, 1987; Falconer y Mackay, 2001; Willham, 1972).

El grado de asociación que existe entre los efectos aditivos directos y maternos para los pesos a diferentes edades se puede calcular mediante la correlación genética entre dichos efectos (Van Vleck *et al.*, 1987; Falconer y Mackay, 2001)

$$r_g = \frac{\sigma_{dm}}{\sqrt{\sigma_d^2 \sigma_m^2}}$$

r_g = correlación entre los efectos genéticos aditivos directos y maternos

σ_{dm} = es la covarianza entre los efectos genéticos aditivos directos (d) y los aditivos maternos (m).

σ_d^2 = varianza genética aditiva directa.

σ_m^2 = varianza genética aditiva materna.

El efecto de ambiente permanente materno (c^2) estimado como proporción de la varianza total $c^2 = \sigma_p^2 / \sigma_f^2$ explica en qué grado las crías están sujetas a un ambiente materno común durante las primeras etapas de su vida, siendo una causa de que los hijos de la misma madre se parezcan entre sí, independientemente de los efectos genéticos aditivos directos y maternos. Este efecto incluye efectos genéticos no aditivos (Falconer y Mackay, 2001).

Se han realizado pocos estudios de estimación de parámetros genéticos para características de crecimiento en el ciervo rojo. Rapley (1990) los estimó a través del método 3 de Henderson y encontró valores de h_t^2 de 0.67, 0.77 y 0.60 para PN, PD y para peso a los 15 meses de edad, respectivamente. McManus y

Hamilton, 1991 estudiaron un hato de ciervo rojo cruzado con Wapiti en Escocia, usando un modelo animal que incluye el efecto materno bajo el programa DFREML y estimando una h^2_t de 0.27 ± 0.04 , y 0.21 ± 0.06 para PN y PD respectivamente; mientras que para las características de peso posdestete, se ha obtenido valores de 0.10 ± 0.05 . McManus y Thompson, 1993 en un estudio con ocho granjas en Escocia con 2470 registros, 59 sementales y 110 madres, estimaron la h^2_d para características de crecimiento de ciervo rojo usando un modelo de repetibilidad con el algoritmo DFREML y obtuvo valores de 0.31 ± 0.15 a 0.49 ± 0.29 para PN; de 0.01 ± 0.03 a 0.89 ± 0.17 para PD y de 0.08 ± 0.13 a 0.37 ± 0.07 para pesos posdestete.

METODOLOGÍAS DE ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS

Al considerar históricamente los métodos de estimación de componentes de varianza basados en el análisis de varianza, destaca el método 3 de Henderson, sobre todo en el análisis de datos desbalanceados. Este método puede producir estimaciones negativas y no se conocen las propiedades distribucionales de los estimados, excepto que son insesgados, mientras que el procedimiento de Máxima Verosimilitud tiene su origen en Fisher (Hofer, 1998) y fue aplicado por primera vez al modelo mixto general por Hartley y Rao (Cadena-Meneses y Castillo-Morales, 2000). Este método supone que los términos del error y los efectos aleatorios tienen distribución normal. Una variante de la estimación de Máxima Verosimilitud es la Máxima Verosimilitud Restringida o REML, descrita por Patterson y Thompson para diseños de bloques incompletos. REML maximiza la verosimilitud de un vector de combinaciones lineales de las observaciones que son invariantes (Cadena-Meneses y Castillo-Morales, 2000). Varios algoritmos han implementado esta metodología en la estimación de los componentes de varianza y parámetros genéticos, para el análisis de modelos mixtos con datos balanceados; entre los algoritmos utilizados para obtener componentes de varianza con REML se encuentra un procedimiento libre de derivadas (DFREML),

que realiza una búsqueda para componentes de varianza sin la inversión de la matriz de coeficientes de modelos mixtos; sin embargo, el algoritmo AI-REML implementado en el programa ASREML se basa en la aproximación de las derivadas parciales de segundo orden a partir del promedio de la matriz de información esperada y observada, siendo eficiente para estimar componentes de varianza con datos de animales reduciendo el tiempo de cómputo y garantizando a diferencia de DFREML la maximización global de la función de verosimilitud (Hofer, 1998).

III. LOS OBJETIVOS DE ESTA TESIS SON:

- Caracterizar la curva de crecimiento del Ciervo Rojo hasta los 800 días de edad.
- Estimar parámetros genéticos de algunas características de crecimiento del Ciervo Rojo.

IV. CONCLUSIÓN GENERALES

- De los modelos usados se determinó que el que describe mejor la curva de crecimiento para hembras y machos fue el de Brody.
- Con los modelos de Brody, Gompertz, Von Bertalanffy y Richards se estimaron los parámetros de peso a la madurez, los cuales van de los 63 a los 69 kg en hembras y de los 105 a los 130 kg en machos, mientras que el parámetro de la tasa de madurez, van de 0.001 a 0.006, indicando que las hembras alcanzan la madurez a más corta edad que los machos, sin embargo, el modelo ponderado de Brody indica que el peso maduro en hembras es de 60 kg y en los machos es de 132 kg, sin embargo este modelo no puede determinar la edad a la madurez.
- Los parámetros genéticos y ambientales obtenidos bajo los diferentes modelos con metodología (REML) para las características de crecimiento como PN y PD, muestran suficiente variación genética aditiva directa y materna, por lo que pueden ser consideradas para incluirse en un programa de mejoramiento genético del ciervo rojo.
- Los parámetros genéticos para las características de P6M y PA no se estimaron satisfactoriamente, y aunque es probable que muestran variabilidad genética aditiva, es necesario hacer trabajos con más datos de producción y una mejor estructura en el pedigrí.

V. ARTÍCULOS

V.I. Caracterización de la curva de crecimiento del ciervo rojo (*Cervus elaphus scoticus*) en un ható en el centro de México.

V.II. Componentes de varianza genéticos, directos y maternos para características de crecimiento en ciervo rojo (*Cervus elaphus scoticus*).

V.I. CARACTERIZACIÓN DE LA CURVA DE CRECIMIENTO DEL CIERVO ROJO (*Cervus elaphus scoticus*) EN UN HATO EN EL CENTRO DE MÉXICO

A. C. Delgadillo*, R. López^a, H. H. Montaldo^a, A. Luna^b, A. Shimada^b, C. G. Vásquez^a

^a Departamento de Genética y Bioestadística, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Código postal 04510 México D.F.

^b Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal CENID-FyMA- INIFAP, Ajuchitlan, Querétaro, México.

* Este trabajo es parte de la tesis de Maestría del primer autor.

Dr. Carlos Gustavo Vásquez Peláez Tel.: 5622-5854; dirección de E-mail: carlosgv@servidor.unam.mx

Proyecto financiado parcialmente por UNAM PAPIIT IN216802

Artículo en proceso de publicación en la revista Small Ruminant Research

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue caracterizar la curva de crecimiento en un hato de ciervo rojo localizado en el estado de Querétaro, México. La información correspondió a los registros de pesos bimestrales del nacimiento hasta los 800 días de edad de 240 ciervos nacidos entre 2000 a 2002. Se utilizaron seis modelos con los pesos sin ajustar, dentro de sexo, para obtener curvas de crecimiento, las cuales fueron comparadas usando el coeficiente de determinación (R^2), cuadrado medio del error (CME) y el estadístico C_p de Mallows (C_p). Un modelo no lineal de cinco parámetros y la regresión polinómica hasta el efecto cúbico se ajustaron mejor a los datos desde el punto de vista matemático, mientras que de los modelos que consideran la forma de la curva de crecimiento desde el punto de vista biológico (Gompertz, Von Bertalanffy, Brody y Richards), el modelo que tuvo el mejor ajuste fue el de Brody. De acuerdo a los modelos con interpretación biológica, el peso a la madurez varió de 63 a 69 kg en hembras y de 105 a 130 kg en machos. Un modelo de Brody ponderado por el número de observaciones indica que el peso maduro en hembras es de 60 kg y de machos es de 132 kg. Los resultados sugieren al modelo de Brody como el más adecuado para caracterizar la curva de crecimiento del ciervo rojo en este estudio, con los criterios de comparación utilizados.

PALABRAS CLAVE: Crecimiento, Ciervo Rojo.

INTRODUCCIÓN

El ciervo rojo (*Cervus elaphus*), de ser considerado principalmente como una especie cinegética, ha pasado a ser una alternativa para la producción de carne (Van den Berg y Garrick, 1997) iniciándose su producción en forma comercial a principios de la década de 1970 en Australia y Nueva Zelanda.

En la producción de carne, la descripción del patrón de crecimiento en un ambiente y sistema de manejo definidos, permite evaluar la importancia de algunos factores que afectan la eficiencia productiva. Estas curvas y su estimación a partir de diferentes funciones (Fitzhugh, 1976; Brown *et al.*, 1976; Behr *et al.*, 2001; Huisman *et al.*, 2002), han sido ampliamente discutidas en la literatura en animales domésticos (Archer *et al.*, 1998; Behr *et al.*, 2001; DeNise y Brinks, 1985; Kaps *et al.*, 2000; López de Torre *et al.*, 1992; Menchaca *et al.*, 1996; en ganado bovino; Bathaei y Pascal, 1998 en ovinos; Huisman *et al.*, 2002 en cerdos; Mignon-Grasteau *et al.*, 2000 en pollos; López *et al.*, 2000 en peces; y Landete-Castillejos *et al.*, 2001 en Ciervo rojo Ibérico).

Por otro lado, en los cérvidos se han obtenido resultados en algunas especies o subespecies. Uchida *et al.* (2001), utilizando al venado Sika (*Cervus nippon*) en cautiverio, observaron un crecimiento aproximadamente similar en machos y hembras hasta los tres meses de edad, y a partir del cuarto mes los machos mostraron una velocidad de crecimiento más acelerado. Mc Manus (1993) en Escocia con ciervo rojo (*Cervus elaphus scoticus*) informó pesos al nacer entre 8.32 y 9.39 kg y de 32.21 a 51.19 kg al destete. Landete-Castillejos *et al.* (2001) estudiaron el crecimiento en el ciervo rojo ibérico (*Cervus elaphus hispanicus*) del nacimiento hasta las 34 semanas de edad, observando ganancias diarias de pesos mayores en los machos que en las hembras, mientras que el peso adulto para machos reportado por De Vos (1982) es de 95 kg para el ciervo escocés.

Debido a que en la literatura no hay una descripción de la curva de crecimiento del ciervo rojo, es importante caracterizarla en México.

En 1994, el Gobierno Federal introdujo a México un rebaño de ciervo rojo (*Cervus elaphus scoticus*) procedente de Nueva Zelanda como alternativa para producción de carne (Vásquez *et al.*, 2004), debido a la falta de conocimiento sobre curvas de crecimiento en ciervo rojo, el objetivo del presente trabajo es caracterizar la curva de crecimiento en un rebaño de ciervo rojo (*Cervus elaphus scoticus*) en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron registros bimestrales de pesos del nacimiento hasta los 800 días de edad de 240 ciervos nacidos entre 2000 al 2002 en el Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Genético, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, SAGARPA, localizado en Ajúchitlan, Querétaro a 1925 msnm, (20° 47' de latitud norte y 100° 03' de longitud oeste), con clima seco templado y lluvias en verano (BS1K (w)) (García, 1988), precipitación media anual de 459.2 mm y una temperatura media anual de 17.1°C (INEGI, 2000).

Los promedios mínimo cuadráticos, para las características de peso al nacimiento (PN), al los 95 días (PD), a los 240 días (P8M), al los 380 días (PA) y a los dos 660 días (P2A), para cada sexo, se estimaron mediante un modelo lineal con el efecto fijo independiente de sexo con el procedimiento GLM de SAS (SAS ver 8, 2001).

Los datos de pesos sin ajustar dentro de sexo, fueron analizados utilizando modelos lineales y no lineales ajustados con los procedimientos REG y NLIN (SAS ver 8,2, 2001). Los modelos usados fueron: regresión polinomial ($y = \beta_0 + \beta_1 x + \dots + \beta_n x^n$), no lineal de cinco parámetros ($y = \beta_0 + \beta_1 x^{a1} + \beta_2 x^{a2}$), y modelos no lineales donde se estiman los parámetros con un sentido biológico como el de

Brody $y = A(1 - be^{-kx})$; Von Bertalanffy $y = A(1 - be^{-kx})^3$; Gompertz $y = A \exp(-be^{-kx})$ y Richards $y = A(1 + be^{-kx})^M$, siendo el valor M fijo o no en ésta última función. De acuerdo con Fitzhugh (1976) estos modelos no lineales pueden generalizarse como $y=f(x)$: $y = A(1 - be^{-kx})^M$ donde y es el peso corporal a una determinada edad (x); A es el peso a la madurez; b es un parámetro de escala establecido por los valores iniciales de y y de x ; k es la tasa de madurez; e es el logaritmo natural y M establece el grado de madurez al punto de inflexión. Los modelos fueron comparados utilizando los criterios de coeficiente de determinación (R^2), cuadrado medio del error (CME) y estadístico C_p de Mallows's propuesto como un criterio relacionado con el cuadrado medio del error del modelo $C_p = \frac{SCE}{VE} - n + 2p$, donde p es el número de parámetros involucrados en el modelo, VE es la varianza residual, SCE es la suma de cuadrados del error y n es el número de observaciones (Montgomery *et al.*, 2001).

RESULTADOS

En el cuadro 1 se muestran los promedios mínimo cuadráticos para los pesos al nacer, 95, 240, 380, y 660 días, observándose que los machos superaron a las hembras ($P < 0.05$) en 8%, 14%, 14%, 17% y 39% respectivamente.

En el cuadro 2 se presentan las ecuaciones y los criterios de comparación, considerando para esto el R^2 , el CME y el C_p . Se observó que las ecuaciones obtenidas a partir del modelo no lineal de cinco parámetros y la regresión polinomial que incluyó hasta el efecto cúbico, fueron las que mejor se ajustaron a los datos tanto para hembras como para machos. Dentro de los modelos no lineales que estiman los parámetros con un sentido biológico el que mejor ajustó a los datos fue el modelo de Brody. El parámetro de peso a la madurez varió de 63 a 69 kg en hembras y de 105 a 130 kg en machos para los distintos modelos con interpretación biológica.

En las figuras 1 y 2 se muestran las curvas de crecimiento para el modelo no lineal de cinco parámetros y el de Brody para hembras y para machos respectivamente, mientras que en la figura 3 se observa la curva de crecimiento para hembras y para machos con el modelo de Brody ponderado por el número de observaciones.

DISCUSION

En el cuadro 1 se muestran los promedios mínimo cuadráticos para los pesos al nacer, 95, 240, 380, y 660 días, estos resultados concuerdan con los obtenidos por McManus (1993), para peso al nacer tanto para hembras como para machos; sin embargo, el peso al destete, de los machos en este estudio estuvieron 14 kg por debajo del peso al destete en dicho estudio. Por otro lado, el comportamiento observado es similar a lo encontrado en el ciervo sika (Uchida *et al.*, 2001), donde el peso de machos y hembras fue aproximadamente semejante durante los primeros tres meses de edad, al igual que como ocurre con esta especie (Figura 3.)

En el cuadro 2 se presentan las ecuaciones y los criterios de comparación, considerando: R^2 , CME y Cp. Se observó que las ecuaciones obtenidas a partir del modelo no lineal de cinco parámetros y la regresión polinomial que incluyó hasta el efecto cúbico, fueron las que mejor se ajustaron a los datos tanto para hembras como para machos. Esto fue similar a lo encontrado para machos de bovinos Azul Belga en donde un modelo de regresión polinómica hasta el efecto cúbico, fue el mejor, con una R^2 de 0.86 (Behr *et al.*, 2001). Sin embargo, estas ecuaciones no muestran la inflexión de la curva al alcanzar el peso maduro, por lo que si bien tienen un buen ajuste desde el punto de vista estadístico, no proporcionan una representación adecuada del fenómeno de crecimiento, como lo hacen los modelos no lineales que estiman los parámetros con un sentido

biológico (Behr *et al.*, 2001), de estos modelos, el que mejor ajuste tuvo, en este estudio fue el de Brody. Un resultado similar se obtuvo para bovinos de la raza Angus (Kaps *et al.*, 2000), los autores mencionan que el modelo de Brody es que da predicciones adecuadas de los pesos, mientras que el modelo de Richards lo sobreestima. Las curvas de crecimiento (Figuras 1 y 2) muestran el ajuste del modelo no lineal de cinco parámetros y el modelo de Brody. Se puede observar que el modelo de Brody no presenta un punto de inflexión como se menciona en otros estudios (Brown *et al.*, 1976; López de Torre *et al.*, 1992), observándose un comportamiento similar de la curva al encontrado en Bovinos de la raza Angus, (Beltran *et al.*, 1992) y en ovinos (Jenkins y Leymaster, 1993).

De acuerdo al modelo de Brody en las hembras alcanzan el peso maduro a los 69 kg a una edad de 2290 días, mientras que los machos alcanzan el peso maduro a los 130 kg a una edad de 3460 días. Para ambos sexos, estas edades son elevadas (Haigh y Hudson, 1993). En bovinos de la raza Angus el peso maduro se alcanza a los 440 kg (Beltran *et al.*, 1992) y en ovinos a los 106 kg (Jenkins y Leymaster, 1993). Si se considera el peso a la pubertad que sería el 75% del peso a la madurez (Ocanto *et al.*, 1991; Plasse, 1979), esto nos indica que las hembras alcanzan el peso a la pubertad a los 51 kg a una edad de 310 días, mientras que en los machos sería a los 97 kg a una edad de 800 días. Estos resultados pueden deberse en parte a la distribución y cantidad de los datos, por lo que se realizó un modelo de Brody ponderado por el número de observaciones. Para las hembras se observa un cambio en la curva de crecimiento (Figura 1., Brody ponderado), alcanzando el peso maduro a los 60 kg a una edad de 860 días, de acuerdo a la ecuación $y = 60.7039(1 - 0.8403 \exp(-0.0051 x))$ con un R^2 de 0.99, mientras que para el caso de los machos, la curva no tuvo cambio (Figura 2., Brody ponderado). De acuerdo a la ecuación ponderada, el peso maduro para los machos lo alcanzan a los 132 kg a una edad de 6890 días, $y = 132.0021(1 - 0.9044 \exp(-0.00159 x))$, con una R^2 de 0.99.

Estos resultados es que existe un problema de estimación para el caso de los machos ya que reporta edades que comúnmente los ciervos no alcanzan a vivir. Esto puede ser debido a que la mayoría de los datos alrededor de los 800 días tuvieron valores elevados. Lo que pudo sesgar la curva hacia arriba. Por lo tanto en este estudio el modelo de Brody si bien estima el peso maduro, no determina adecuadamente la edad al peso maduro, al igual que en bovinos de raza Angus (Beltran *et al.*, 1992) y en ovinos (Jenkins y Leymaster, 1993).

CONCLUSION

Dentro de los modelos que consideran la forma de la curva de crecimiento desde el punto de vista biológico, el modelo que tuvo el mejor ajuste fue el de Brody. De acuerdo a este modelo, el peso maduro en hembras se alcanza a los 69 kg y en machos a los 130 kg, sin embargo con esta ecuación no se pudo determinar la edad al peso maduro. Al utilizar un modelo de Brody ponderado por el numero de observaciones, se muestra un cambio en hembras con un peso maduro de 60 kg.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece las facilidades prestadas por el registro de datos del Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENID-FyMA), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de Ajuchitlán, Qro. (SAGARPA).

REFERENCIAS

- Archer J. A., Herd R. M., Arthur P. F., Parnell P. F. 1998. Correlated responses in rate of maturation and mature size of cows and steers to divergent selection for yearling growth rate in Angus cattle. *Livest. Prod. Sci.* 54: 183-192.
- Bathaei S. S., Pascal L. L. 1998. Genetic and phenotypic aspects of the growth curve characteristics in Mehraban Iranian fat-tailed sheep. *Small Ruminant Research.* 29: 261-269.
- Behr de V., Hornick J. L., Cabaraux J. F., Alvarez A., Istasse L. 2001. Growth patterns of Belgian Blue replacement heifers and growing males in commercial farms. *Livest. Prod. Sci.* 71: 121-130.
- Beltran J. J., Butts W. T., Olson T. A. and Koger M. 1992. Growth Patterns of two lines of Angus cattle selected using predicted growth parameters. *J. Anim. Sci.* 70: 734-741.
- Blasco A. 2004. La descripción del crecimiento. Uni. Politécnica de Valencia. XIV Curso internacional sobre mejora genética animal 4 al 29 de Octubre. Madrid, España.
- Brown J. E., Fitzhugh H. A. and Cartwright T. C. 1976. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *J. Anim. Sci.* 42: 810-818.
- DeNise R. S. and Brinks J. S. 1985. Genetic and environmental aspects of the growth curve parameters in beef cows. *J. Anim. Sci.* 61: 1431-1440.
- De Vos A. 1982. FAO Animal Production and Health Paper 27. Deer Farming. <http://www.fao.org/DOCREP/004/X6529E/x6529E00.htm>. 01/03/2005.
- Fitzhugh H. A. 1976. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *J. Anim. Sci.* 42: 1036-1051.
- García E. 1988. Modificación al sistema de clasificación climática de Köpen. México. 220 pp.
- Haigh J. C. and Hudson R. J. 1993. Farming Wapiti and Red Deer. Ed. Mosby.

- Huisman A. E., Veerkamp R. F. and Van Arendonk J. A. M. 2002. Genetic parameters for various random regression models to describe the weight data of pigs. *J. Anim. Sci.* 80:575-582.
- INEGI, 2000 Cartas topográficas de climas de temperaturas y precipitación. Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática en México.
- Jenkins T. G. and Leymaster K. A. 1993. Estimates of maturing rates and masses at maturity for Brody components of sheep. *J. Anim. Sci.* 71: 2952-2957.
- Kaps M., Herring W. O. and Lamberson W. R. 2000. Genetic and environmental parameters for traits derived from the Brody growth curve and their relationship with weaning weight in Angus cattle. *J. Anim. Sci.* 78: 1436-1442.
- Landete-Castillejos T., García A. and Gallego L. 2001. Calf growth in captive Iberian red deer (*Cervus elaphus hispanicus*): effects of birth and hind milk production and composition. *J. Anim. Sci.* 79: 1085-1092.
- López de Torre G., Candotti J. J., Reverter A., Bellido M. M., Vasco P., García L. J. and Brinks J. S. 1992. Effects of growth curve parameters on cow efficiency. *J. Anim. Sci.* 70: 2668-2672.
- López S., France J., Gerrits W. J. J., Dhanoa M. S., Humphries D. J. and Dijkstra J. 2000. A generalized Michaelis-Menten equation for the analysis of growth. *J. Anim. Sci.* 78: 1816-1828.
- McManus C. M. 1993. Within-farm estimates of genetic and phenotypic parameters for growth and reproductive traits for red deer. *Anim. Prod.* 57: 153-159.
- Menchaca M. A., Chase C. C., Olson T. A. and Hammond A. C. 1996. Evaluation of growth curves of Brahman cattle of various sizes. *J. Anim. Sci.* 74: 2140-2151.
- Meyer K. 1994. Estimates of direct and maternal correlations among growth traits in Australian beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 38: 91-105.
- Mignon-Grasteau S., Piles M., Varona L., de Rochambeau H., Poivey J. P., Blasco A. and Beaumont C. 2000. Genetic analysis of growth curve parameters for male and female chickens resulting from selection on shape of growth curve. *J. Anim. Sci.* 78: 2515-2524.

- Montgomery D. C., Peck E. A., Geoffrey V. G. 2001. Introduction to linear regression analysis. Ed. John Wiley & sons, inc. 641 pp.
- Ocanto D., Linares T., Patiño A., Ramos C. y Escobar S. 1991. Índices de pubertad en Bovinos machos criollo Río Limón y Brahamán. *Zootecnia Tropical*. 9: 25-54.
- Plasse D. 1979. Aspectos de crecimiento del *Bos indicus* en el tropico Americano. *World Review of Animal Production*. 15: 21-38.
- Statistical Analysis System Institute. 2001. Statistical Analysis System (SAS) version 8. USA.
- Uchida H., Ikeda S., Ishida M., Inoue T. and Takeda T. 2001. Growth characteristics of artificially reared Sika deer (*Cervus nippon*). *Animal Science Journal*. 72: 461-466.
- Van den Berg G. H. J. and Garrick D. J. 1997. Inheritance of adult velvet anther weights and live weights in farmed red deer. *Livest. Prod. Sci.* 49:287-295.
- Vásquez C. G., Olvera L., Sequeiros Y., Kuri M. L., Navarro V. A., Rovelo A. E. and Shimada A. 2004. Nursing and feeding behavior of confined red deer (*Cervus elaphus scoticus*) in the Mexican highlands. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 47: 1-9.

Cuadro 1. Promedios mínimo cuadráticos por sexo para peso al nacimiento (PN), peso a los 95 días (PD), peso a los 240 días (P8M), peso a los 380 días (PA) y peso a los 660 días (P2A)

Característica *	n	HEMBRAS		MACHOS	
		n		n	
PN	112		8.82 ± 0.13^a	126	9.56 ± 0.12^b
PD (95 días)	66		33.71 ± 0.65^a	81	38.47 ± 0.59^b
P8M (240 días)	260		44.91 ± 0.46^a	301	51.01 ± 0.43^b
PA (380 días)	136		55.41 ± 0.86^a	182	65.10 ± 0.78^b
P2A (660 días)	32		65.56 ± 2.54^a	177	91.40 ± 1.08^b

* pesos en kilogramos

a,b, promedios con diferente literal en renglones son estadísticamente diferentes $p < 0.05$

n= número de registros

Cuadro 2. Ecuaciones estimadas, cuadrados medios del error (CME), coeficientes de determinación (R²) y Estadístico Cp de Mallows's (Cp) obtenidos en los modelos estudiados

MODELO	ECUACIÓN	C.M.E.	R ²	Cp
HEMBRAS				
No lineal de 5 parámetros	$y = -110.3 + 119 x^{0.0297} + 0.1896 x^{0.8055}$	37.85	0.980	4.99
Regresión polinomial	$y = 10.06469 + 0.23972 x - 0.00044902 x^2 + 3.317742 x 10^{-7} x^3$	41.28	0.873	58.36
Brody (exponencial)	$y = 69.0075(1 - 0.8552 \exp(-0.00392 x))$	42.45	0.978	76.15
Von Bertalanffy (sigmoidal)	$y = 64.7309 (1 - 0.4414 \exp(-0.00589 x))^3$	45.9	0.976	130.78
Richards (sigmoidal)	$y = 63.6237 (1 + 0.0660 \exp(-0.00676 x))^{24.6297}$	47.47	0.975	157.83
Gompertz (sigmoidal)	$y = 63.5100 \exp(-1.6732 \exp(-0.00687 x))$	47.69	0.975	159.27
MACHOS				
No lineal de 5 parámetros	$y = 4.4510 + 5.1352 x^{0.4079} + 1.03 x 10^{-23} x^{8.4492}$	72.31	0.980	5.0
Regresión polinomial	$y = 10.608 + 0.298 x - 0.000623 x^2 + 0.000000516 x^3$	74.72	0.897	32.65
Brody (exponencial)	$y = 130.5(1 - 0.8959 \exp(-0.00158 x))$	95.69	0.974	281
Von Bertalanffy (sigmoidal)	$y = 110.2 (1 - 0.4727 \exp(-0.00296 x))^3$	104	0.972	379.24
Richards (sigmoidal)	$y = 106.0 (1 + 0.0602 \exp(-0.00357 x))^{29.3409}$	107.5	0.971	423.64
Gompertz (sigmoidal)	$y = 105.6 \exp(-1.8116 \exp(-0.00364 x))$	107.9	0.971	426.36

x= edad en días

FIGURA 1. CURVAS DE CRECIMIENTO PARA HEMBRAS DE CIERVO ROJO HASTA LOS 800 DIAS

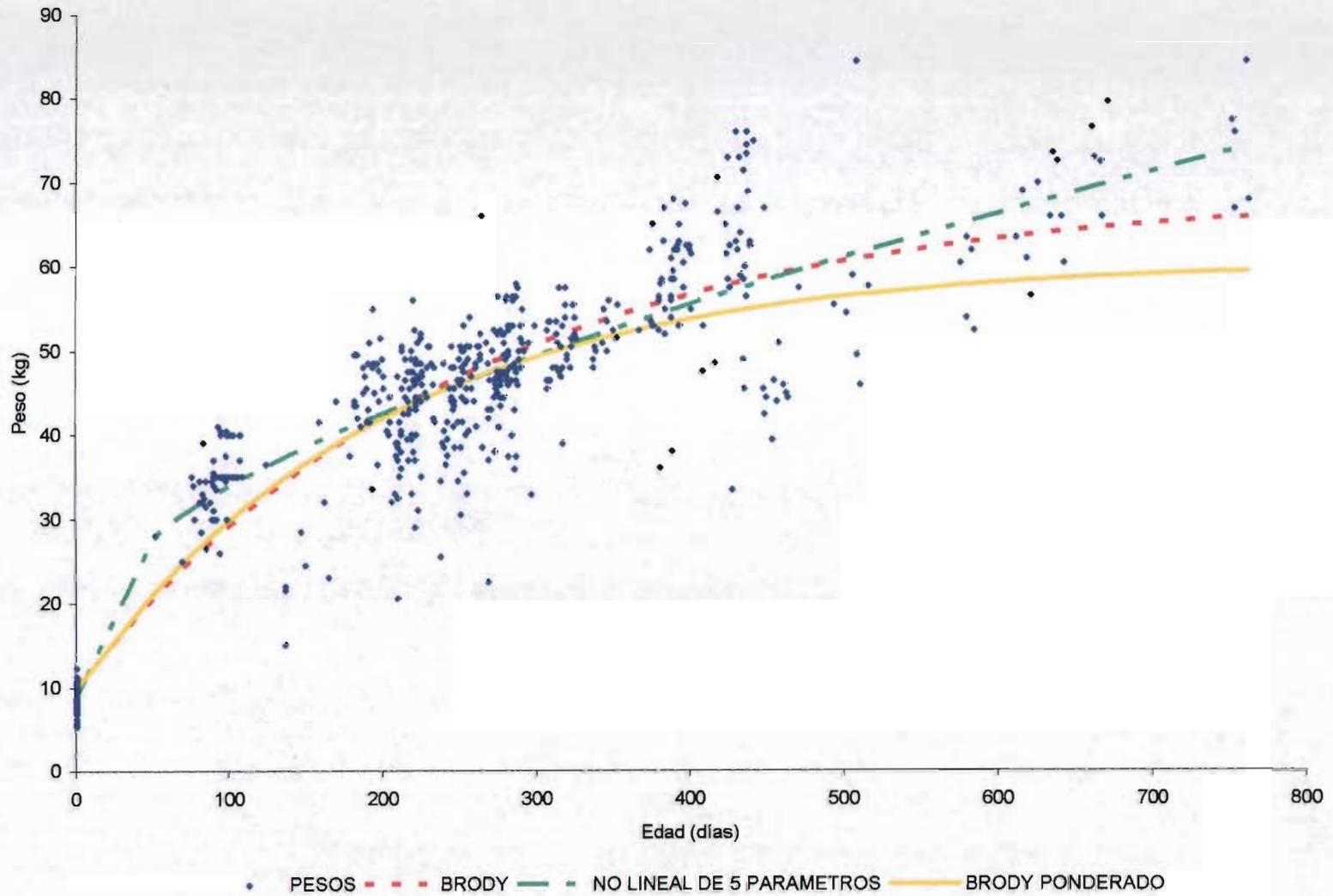


FIGURA 2. CURVAS DE CRECIMIENTO EN MACHOS DE CIERVO ROJO HASTA LOS 800 DIAS

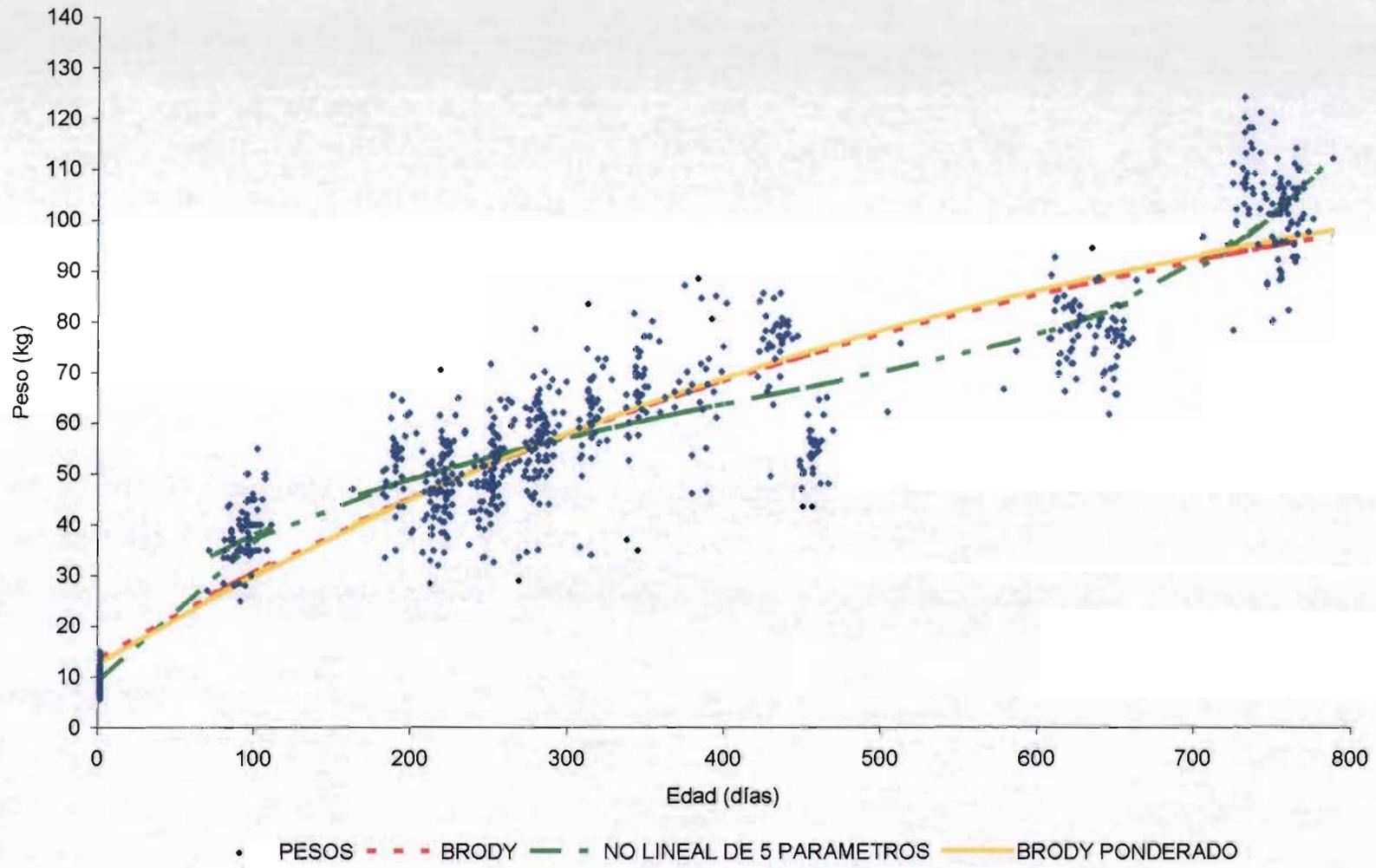
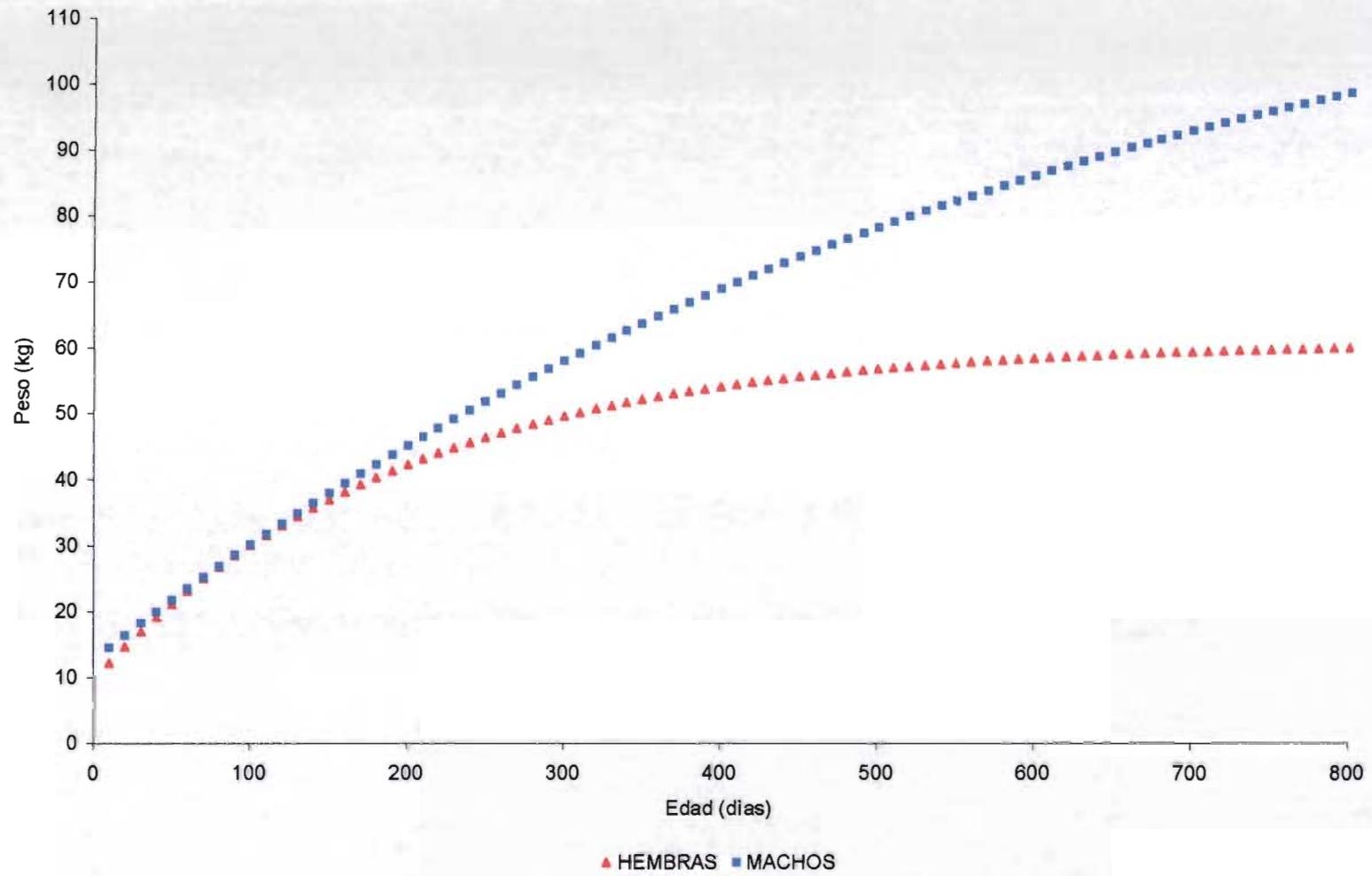


FIGURA 3. CURVAS DE CRECIMIENTO DEL MODELO DE BRODY PONDERADO PARA HEMBRAS Y MACHOS



V.II COMPONENTES DE VARIANZA GENÉTICOS, DIRECTOS Y MATERNO
PARA CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO EN CIERVO ROJO (*Cervus
elaphus scoticus*).

A.C. Delgadillo*, R. López^a, H.H. Montaldo^a, J.M. Berruecos^a, C.G. Vásquez^{a**}.

^a Departamento de Genética y Bioestadística, Facultad de Medicina Veterinaria y
Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Código Postal 04510.
México, D.F.

* Este trabajo es parte de la tesis de Maestría del primer autor.

Proyecto financiado parcialmente por UNAM PAPIIT IN216802

** Responsable: Vásquez Peláez Carlos. Tel.: 5622-5854; dirección de
E-mail: carlosgv@servidor.unam.mx

Artículo en proceso de publicación en la revista Small Ruminant Research

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue estimar los componentes de varianza genéticos, directos y maternos para algunas características de crecimiento en el ciervo rojo (*Cervus elaphus scoticus*). La información fue obtenida entre 1994 y 2003 de un hato ubicado en Querétaro, México y consistió en 417 registros de peso al nacimiento (PN), 169 de peso al destete (PD), 168 de peso a los seis meses (P6M) y 172 de peso al año (PA). La información incluye identificación de padres (11) y madres (107), mientras los efectos fijos incluidos en los modelos fueron sexo de la cría, año de nacimiento, y el número de parto de la hembra; todos ellos fueron significativos en todas las características ($P < 0.001$). La estimación de los componentes de varianza y los parámetros genéticos, se realizó a partir de tres modelos mixtos: modelo (1) incluyó los efectos fijos y el efecto genético aditivo directo; modelo (2) fue igual al (1) más el efecto genético aditivo materno; y modelo (3) fue igual al (2) más el efecto del ambiente permanente materno; todos ellos usando el método de máxima verosimilitud restringida (REML) implementado en el programa ASREML. Las heredabilidades totales ($h^2_t \pm$ e.e.) para el primer modelo fueron 0.33 ± 0.11 , 0.40 ± 0.22 , 0.05 ± 0.12 y 0 ± 0 para PN, PD, P6M y PA respectivamente. Las heredabilidades del efecto genético aditivo directo ($h^2_d \pm$ e.e.) para el segundo modelo fueron de 0.11 ± 0.09 y 0.19 ± 0.18 para PN y PD, mientras que las heredabilidades del efecto genético aditivo materno ($h^2_m \pm$ e.e.) fueron 0.15 ± 0.06 y 0.14 ± 0.11 para PN y PD respectivamente. Las h^2_d para el tercer modelo fueron de 0.12 ± 0.09 y 0.19 ± 0.18 para PN y PD mientras que las h^2_m fueron 0.01 ± 0.13 y 0.14 ± 0.11 para PN y PD respectivamente. La varianza de los efectos de ambiente permanente materno ($c^2 \pm$ e.e.) para las características PN, PD y P6M, fueron 0.14 ± 0.13 , 0 ± 0 y 0.06 ± 0.23 respectivamente. Las correlaciones genéticas entre los efectos genéticos aditivos directos y maternos fueron -0.21 ± 0.29 , -0.92 ± 0.11 y -0.84 ± 0.20 para PN, PD y P6M respectivamente. Los componentes de varianza y los parámetros estimados para PN y PD muestran moderada variación genética

aditiva directa y materna, por lo que pueden ser consideradas en programas de mejoramiento genético. Los componentes de varianza para P6M y PA no se estimaron satisfactoriamente, mientras que las correlaciones entre efectos genéticos aditivos directos y maternos fueron moderadas y negativas para PN y altas y negativas para PD y P6M, debido quizá a la estructura de los datos para estas características. En este estudio, el modelo que incluyó el efecto aditivo directo y el efecto aditivo materno, explicó mejor la información de acuerdo con los valores de los logaritmos de las verosimilitudes obtenidos.

Palabras clave: *Cervus elaphus scoticus*, componentes de varianza, heredabilidades, ASREML.

INTRODUCCIÓN

La producción comercial de ciervos iniciada a principios de la década de 1970 en Nueva Zelanda y Australia, es una alternativa para la producción de carne. Es una especie de importancia cinégetica y además, el velvet o recubrimiento de las astas, tiene valor en la industria farmacéutica (Van den Berg y Garrick, 1997). La mayoría de estas características puede estudiarse a través de la evaluación del crecimiento, el cual está influenciado tanto por factores ambientales (sexo, edad, alimentación, número de parto) como genéticos (aditivos directos y aditivos maternos) (Meyer, 1994).

Se ha observado que al analizar características de crecimiento a partir de un modelo mixto donde sólo se incluye al efecto aditivo directo, las estimaciones de heredabilidad (h^2) pueden tomar valores incorrectos (Clément *et al.*, 2001), mientras que el uso de un modelo que incluya los efectos genéticos aditivos directos y maternos, estima con mayor precisión los parámetros genéticos. Adicionalmente, si además se considera la inclusión del efecto ambiental permanente, se obtiene una mejor estimación de los parámetros (Meyer, 1992 y 1994; Tawah *et al.*, 1993; Al-Shorepy y Notter, 1996; Robinson 1996, Lee *et al.*, 1997, Tosh *et al.*, 1999, Clément *et al.*, 2001, Hanford *et al.*, 2002, Matika *et al.*, 2003). En algunos trabajos, estos modelos se han utilizado en características de crecimiento en bovinos para carne y ovinos, para determinar el modelo que estime mejor los componentes de varianza (Matika *et al.*, 2003, Meyer 1992 y 1994).

Actualmente el método de máxima verosimilitud restringida (REML), ha sido ampliamente utilizado para la estimación de los componentes de varianza y los parámetros genéticos, para diferentes características en diversas especies (Meyer, 1992 y 1994, Hofer, 1998, Notter, 1998, Domínguez *et al.*, 2003, Matika *et al.*, 2003). El algoritmo (AI-REML) del programa ASREML se basa en la aproximación de las derivadas parciales de segundo orden a partir del promedio

de la matriz de información esperada y observada para estimar componentes de varianza y obtener aproximaciones de los errores estándar (Hofer, 1998).

El objetivo de este estudio fue estimar a partir de tres modelos mixtos los componentes de varianza y parámetros genéticos para los efectos genéticos directos, maternos y de ambiente permanente, para las características peso al nacimiento, al destete, a los seis meses y al año, en un hato de ciervo rojo en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

DATOS

Se utilizaron registros de producción de animales nacidos entre 1994 a 2003, los cuales incluyeron información de 417 registros de peso al nacimiento (PN), 169 de peso al destete (PD), 168 de peso a los seis meses (P6M) y 172 de peso al año (PA), así como el sexo del animal (SX), el año de nacimiento del animal (AN) y el número de parto de la madre (NP). Se utilizó información genealógica de 11 sementales y 107 hembras. Los datos provienen de un hato ubicado en el Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENID-FyMA), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP SAGARPA) de Ajuchitlán, Querétaro, localizado a una altitud de 1925 msnm, (20° 47' de latitud norte y 100° 03' de longitud oeste), con clima seco templado con lluvias en verano (BS1K (w)) (García, 1988), precipitación media anual de 459.2 mm y una temperatura media anual de 17.1 °C (INEGI, 2000).

ALIMENTACIÓN

La alimentación de las hembras se basó en pastoreo diurno en pradera (alfalfa, pasto Orchard y Ballico (*Lolium perenne*)). Por la tarde, los animales se mantenían en corrales donde se les suministraba 500 gr de concentrado por animal. La alimentación de las hembras durante el empadre se basó en una dieta de

concentrado y forrajes henificados. Los machos se quedaban en sus corrales y su alimentación se basó en forrajes de corte. Para el empadre se utilizan diez hembras por cada macho.

MODELOS ESTADÍSTICOS

Los efectos fijos incluidos en los modelos mixtos definitivos se determinaron a través de un análisis preliminar utilizando un modelo lineal (GLM, SAS versión 8.2, 2004) siendo número de parto de la madre (NP), año de nacimiento del animal (AN), sexo de la cría (SX) y la covariable días de edad, los que resultaron significativos ($P < 0.001$). El número de parto de la hembra (NP), se clasificó en 1, 2 y 3 o más para las características de PN y PD y de 1 y 2 o más para P6M y PA.

Los parámetros genéticos se estimaron a partir de tres modelos mixtos, los cuales incluyeron los efectos fijos de NP, AN, SX, así como la covariable días de edad de la cría. En el modelo 1 se incluyó además el efecto aleatorio genético aditivo directo; el modelo 2 fue igual al modelo 1 más el efecto aleatorio genético aditivo materno, y el modelo 3, es igual al modelo 2 adicionando el efecto aleatorio del ambiente permanente materno, en estos modelos las covariables entre efectos aditivos directos y maternos se consideraron iguales a cero. Las varianzas fueron estimadas a través del método de Máxima Verosimilitud Restringida (REML) con el programa ASREML (Gilmour *et al.*, 2002). Los modelos fueron comparados utilizando los logaritmos de la función de verosimilitud.

$$y = Xb + Z_1a + e \quad (\text{Modelo 1})$$

$$y = Xb + Z_1a + Z_2m + e \quad (\text{Modelo 2})$$

$$y = Xb + Z_1a + Z_2m + Z_3p + e \quad (\text{Modelo 3})$$

Donde:

y = Vector de observaciones para las características de crecimiento: PN, PD, P6M y PA

b = Vector de efectos fijos (NP, SX, AN y la covariable días de edad de la cría)

a = Vector de efectos genéticos aditivos directos del animal

m = Vector de efectos genéticos aditivos maternos

\mathbf{p} = Vector de efectos de efectos de ambiente permanente materno

\mathbf{X} = Matriz de incidencia relacionada con los efectos fijos.

$\mathbf{Z}_1, \mathbf{Z}_2, \mathbf{Z}_3$ = Matrices de incidencia relacionadas con los efectos aleatorios \mathbf{a} , \mathbf{m} , y \mathbf{p} respectivamente.

\mathbf{e} = Vector de efectos residuales aleatorios. N I D (0, σ^2)

Las varianzas de los efectos aleatorios fueron definidas como:

$$Var \begin{bmatrix} \mathbf{a} \\ \mathbf{m} \\ \mathbf{p} \\ \mathbf{e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_a^2 & A\sigma_{am} & 0 & 0 \\ A\sigma_{am} & A\sigma_m^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_V\sigma_p^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_N\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

donde A es la matriz de relaciones genéticas aditivas; σ_a^2 es la varianza del efecto genético aditivo directo; σ_m^2 es la varianza del efecto genético aditivo materno; σ_{am} es la covarianza entre efectos genéticos aditivos directos y maternos; σ_p^2 es la varianza del efecto de ambiente permanente materno; σ_e^2 es la varianza residual; V es el número de animales; N es el número de observaciones, y finalmente I son matrices identidad de orden apropiado.

La varianza fenotípica (σ_f^2) se obtuvo de la suma de los componentes de: la varianza de efectos genéticos aditivos directos (σ_a^2) y maternos (σ_m^2); de la covarianza entre efectos genéticos aditivos y maternos (σ_{am}), de la varianza debida a efectos ambientales permanentes maternos (σ_p^2) y de la varianza residual que representa a los efectos de ambiente temporal y efectos no conocidos (σ_e^2). La heredabilidad total se estimó como $h^2_t = \sigma_g^2 / \sigma_f^2$, donde σ_g^2 es la varianza genética aditiva total. La heredabilidad directa (h^2_d) se estimó a partir de la relación $h^2_d = \sigma_a^2 / \sigma_f^2$, y la heredabilidad materna se estimó como: $h^2_m = \sigma_m^2 / \sigma_f^2$,

mientras que la proporción de la varianza fenotípica debida a la varianza de los efectos maternos de ambiente permanente materno, se estimó a partir de $c^2 = \sigma_p^2 / \sigma_f^2$.

La correlación entre los efectos genéticos aditivos directos y maternos se estimó como el modelo 2, donde los valores iniciales de las covariables entre efectos aditivos directos y maternos se tomaron de los modelos anteriores utilizando la siguiente ecuación:

$$r_g = \frac{\sigma_{am}}{\sqrt{\sigma_a^2 \sigma_m^2}}$$

Donde r_g es la correlación entre los efectos genéticos aditivos directos y maternos; σ_{am} es la covarianza entre los efectos genéticos aditivos directos (a) y los aditivos maternos (m), σ_a^2 y σ_m^2 fueron descritos previamente (Van Vleck *et al.*, 1987).

RESULTADOS

En el cuadro 1 se muestran las medias mínimo cuadráticas para las características de crecimiento en ciervo rojo por sexo, número de parto y año de nacimiento. Todos estos efectos fueron estadísticamente significativos ($P < 0.001$), para todas las características estudiadas. Los machos fueron más pesados que las hembras. Estas diferencias a favor de los machos se incrementaron con la edad; para PN se observa una diferencia de 8%, para PD y P6M existe una diferencia de 10%, mientras que para PA la diferencia es de 17%.

Todas las características fueron diferentes estadísticamente ($P < 0.001$) entre partos. Para PN, las crías fueron 13% más pesadas en el parto 3 y 4% más pesadas en el 2 al compararse con el primer parto. El PD es un 15% más alto en el parto 3 que en el 1 y 7% más alto en el 2 que en el 1. P6M es 10% mayor en el parto 2 que el parto 1. Para PA fue 7% mayor en el parto 2 que en el 1.

En el cuadro 2 se muestran los componentes de varianza y los valores de h^2_d , h^2_m , h^2_t y c^2 para las características de crecimiento. Para el modelo 1, las h^2_t para PN y PD fueron de moderadas a altas (0.33 a 0.40) mientras que para P6M fue cercana a cero (0.05). Para PA la h^2_t fue igual a cero, por lo que esta característica no se consideró para ser analizada con los modelos 2 y 3.

Para el modelo 2, se observa que las h^2_d para PN y PD fueron moderadas (0.11 a 0.19), al igual que las h^2_m (0.14 a 0.15), mientras que la h^2_d para P6M fue muy baja (0.01) con un error estándar elevado (0.12), mientras que la h^2_m fue moderada (0.10). En el modelo 3 se muestran las h^2_d , h^2_m y c^2 para PN, PD y P6M. Se observa que las h^2_d para PN y PD fueron moderadas (0.12 a 0.19), mientras que para P6M fue baja (0.02) con un elevado error estándar de estimación (0.10). Las h^2_m para PN y P6M fueron bajas (0.01 a 0.04), mientras que para PD fue moderada (0.14). La c^2 para PN y P6M fueron de bajas a moderadas (0.06 a 0.14), mientras que para PD fue cero (cuadro 2).

De acuerdo con el logaritmo de la función de verosimilitud, se observa que el mejor modelo es el 2, debido a que en este se encuentran los valores mayores para PD y P6M, mientras que para PN, el mejor modelo es el 3.

Las correlaciones entre los efectos genéticos aditivos directos y maternos (r_G) para PN, PD y P6M fueron negativas, siendo mas alta para PD (-0.92 ± 0.11) seguida de P6M (-0.84 ± 0.20) y PN (-0.21 ± 0.29).

DISCUSIÓN

McManus y Hamilton (1991) en un estudio con ciervo rojo en el Reino Unido usando 2069 registros, obtuvo promedios de 7.86 kg en machos para PN, y de 38.91 kg para PD, y de 55.61 kg para pesos posteriores al destete, observándose un incremento en el peso mayor en machos que en las hembras. McManus (1993), estudió ocho granjas de ciervo rojo en Escocia y los promedios generales dentro de granjas tuvieron un rango de 8.32 a 9.38 kg para PN y de 32.21 a 51.19

kg para PD. Los resultados de los pesos promedio en machos y en hembras para el presente estudio se encuentran dentro de estos rangos.

En el modelo 1 las h^2_t para PN y PD fueron de moderadas a altas mientras que, para P6M, la h^2_t fue cercana a cero con un error estándar elevado. Para PA la h^2_t fue de cero, lo cual indica que probablemente para P6M y PA los componentes de varianza no fueron estimados adecuadamente. Esto se puede deber a la estructura de los datos originada por contar con un pedigrí con pocas conexiones o por tener un número reducido de registros (Clément *et al.*, 2001). En el modelo 2 para PN y PD las h^2_d fueron moderadas y menores que los valores de h^2_t del modelo 1, mientras que la h^2_d para P6M fue muy baja y cercana a cero (0.01 ± 0.10), mientras que las h^2_m fueron bajas para todas las características. Con el modelo 3 las h^2_d , para PN, PD y P6M fueron similares a las encontradas en el modelo 2, mientras que las h^2_m para PN y P6M fueron bajas. Para PD la h^2_d fue moderada y similar a la obtenida en el modelo 2.

Rapley (1990) estimó parámetros genéticos a través de un modelo contarse en la información del semental, utilizando el método 3 de Henderson y encontró h^2_t de 0.67, 0.77 y 0.60 para PN, PD y para peso a los 15 meses de edad, respectivamente. Estos valores son mayores a los encontrados en el presente estudio con el modelo 1. McManus y Hamilton (1991), estudiaron un hato de ciervo rojo cruzado con Wapiti en Escocia, usando un modelo con base en la madre, y con el programa DFREML, y encontraron una h^2 de 0.27, y 0.21 para PN y PD respectivamente, y un valor de 0.10 para las características de peso posdestete. Estos valores son similares a los encontrados en el presente estudio para PN, mientras que para PD es inferior al estimado en el presente estudio, comparado con el modelo 2. McManus (1993), en un estudio con ocho granjas en Escocia con 2470 registros de 59 sementales y 110 madres, reporta que las h^2_d para características de crecimiento de ciervo rojo, usando un modelo animal con el algoritmo DFREML, variaron para h^2_d de PN 0.31 a 0.49; para PD de 0.01 a 0.89, y

para pesos postdestete, de 0.08 a 0.37. Los valores de los estimados observados en el presente estudio con el modelo 1 se encuentran dentro de estos rangos.

La varianza de los efectos maternos de ambiente permanente como proporción de la varianza fenotípica (c^2) encontrada para PN fué de 0.14 ± 0.13 este valor es similar a los estimados en bovinos productores de carne (0.01 a 0.10) (Meyer, 1992 y 1994 y Domínguez *et al.*, 2003). Para PD la c^2 fue de 0.00 ± 0.00 , este valor se encuentra por debajo de los valores encontrados por Domínguez *et al.*, 2003, (0.04 a 0.12) al igual que de los estimados (0.03 a 0.29) por Meyer, (1992). Para P6M el valor de c^2 fue cercano a cero con un error estándar elevado (0.06 ± 0.23) lo cual fue similar a lo encontrado por Meyer (1992 y 1994) quien reporta valores que van de 0.04 a 0.09, para pesos posteriores al destete.

Con base en los criterios utilizados por Matika *et al.* (2003) quien considera el mejor modelo aquel que tenga el valor más alto del logaritmo de la función de verosimilitud, se puede decir que en el presente trabajo el mejor fue el modelo 2. En general, se puede considerar que modelos más completos, que incluyen a los efectos genéticos maternos y de ambiente permanente materno, tendrán una estimación más precisa de los parámetros genéticos, que los modelos más simples, en donde sólo se incluyen los efectos genéticos aditivos directos (Clément *et al.*, 2001).

Las correlaciones genéticas entre los efectos genéticos aditivos directos y maternos fueron negativas para PN, PD y P6M. Para PN la r_{am} fue más baja (-0.21) que las encontradas por Domínguez *et al.* (2003) quienes obtuvieron valores de -0.96 y -0.97 en bovinos de la raza Tropicarne en México, mientras que para PD, el valor fue más alto (-0.92) en este estudio que el encontrado por el mismo autor donde obtienen valores que van de (-0.36 a -0.37) y para pesos postdestete el valor fue más bajo (-0.28 a -0.31) que el estimado en el presente estudio (-0.84).

Se ha observado en algunos estudios con bovinos y ovinos, que las correlaciones entre los efectos genéticos aditivos y maternos tienden a ser negativas para todas

las características (Domínguez *et al.*, 2003; Fadili *et al.*, 2000; Maniatis y Pollott., 2003; Meyer, 1992 y 1994; Naser *et al.*, 2001) pero, estas correlaciones son moderadas (-0.30) cuando hay una buena estructura de los datos con la mayor cantidad de información en la genealogía y de registros de producción de las madres en varias generaciones; sin embargo, cuando no hay una buena estructura de los datos y el pedigrí no está completo, estas correlaciones tienden a ser más altas (-0.70 a -0.90), quizás por esta razón, las r_{am} para PD y P6M estimadas en el presente estudio son altas y negativas de -0.92 y -0.84 respectivamente (Maniatis y Pollot, 2003).

CONCLUSIÓN

Para PN la estimación de la h^2_d (0.12) y la h^2_m (0.01) fueron mejores, a partir del modelo 3, de acuerdo con el logaritmo de la función de verosimilitud. Esto se pudo deber a la inclusión de los factores maternos y ambientales permanentes, así como de que esta característica fue la que presentó mayor número de registros. Para PD, la estimación de la h^2_d (0.19) y la h^2_m (0.14) fueron mejores a partir del modelo 2, de acuerdo con el logaritmo de la función de verosimilitud y esto puede ser por la escasa información disponible. La población muestra suficiente variación genética aditiva directa y materna, para las características PN y PD, por lo que pueden ser consideradas para incluirse en un programa de mejoramiento genético del ciervo rojo. Los parámetros para las características de P6M y PA no se estimaron satisfactoriamente, aunque probablemente muestran variabilidad genética aditiva, es necesario hacer trabajos con una mayor cantidad de datos y una mejor estructura en el pedigrí, ya que tanto el número como la estructura de los datos afectan la precisión de la estimación de los componentes de varianza y puede influir para que las correlaciones entre los efectos genéticos aditivos y maternos sean negativas y altas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradecen las facilidades prestadas por el registro de datos a la M.V.Z., M.C. América Luna del Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENID-FyMA), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de Ajuchitlán, Querétaro (SAGARPA).

REFERENCIAS

- Al-Shorepy S. A. and Notter D. R. 1996. Genetic variation and covariation for ewe reproduction, lamb growth and lamb scrotal circumference in a Fall-Lambing sheep flock. *J. Anim. Sci.* 74: 1490-1498.
- Clément V., Bibé B., Verrier E., Elsen J. M., Manfredi E. Bouix J. and Hanocq E. 2001. Simulation analysis to test the influence of model adequacy and data structure on the estimation of genetic parameters for traits with direct and maternal effects. *Genet. Sel. Evol.* 33: 369-395.
- Domínguez V. J., Núñez D. R., Ramírez V. R., and Ruiz F. A. 2003. Evaluación Genética de variables de crecimiento en bovinos Tropicarne: I. selección de modelos. *Agrociencia.* 37: 323-335.
- Fadili M. E., Michaux C., Detilleux J. and Leroy P.L. 2000. Genetic parameters for growth traits of the Moroccan Timahdit breed of sheep. *Small Ruminant Research. Res.* 37: 203-208.
- García E. 1988. Modificación al sistema de clasificación climática de Köpen. México. 220 pp.
- Gilmour A. R., Gogel B. J., Cullis B. R., Welham S. J. and Thompson R. 2002. *ASReml User Guide Release 1.0.*
- Hanford K. J. Van Vleck L .D. and Snowden G. D. 2002. Estimates of genetic parameters and genetic change for reproduction, weight, and wool characteristics of Columbia Sheep. *J. Anim. Sci.* 80: 3086-3098.

- Hofer A. 1998. Variance component estimation in animal breeding: a review. *J. Anim. Breed. Genet.* 115: 247-265.
- INEGI, 2000 Cartas topográficas de climas de temperaturas y precipitación. Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática en México.
- Lee C. Van Tassell C. P. and Pollak E. J. 1997. Estimation of Genetic variance and covariance components for weaning weight in Simmental cattle. *J. Anim. Sci.* 75: 325-330.
- Maniatis N. and Pollott G. E. 2003. The impact of data structure on genetic (co)variance components of early growth in sheep, estimated using an animal model with maternal effects. *J. Anim. Sci.* 81: 101-108.
- Matika O. Van Wyk J. B. Erasmus G. J. and Baker R. L. 2003. Genetic parameters estimates in Sabi Sheep. *Livest. Prod. Sci.* 79: 17-28.
- McManus C. M. and Hamilton W. J. 1991. Estimation of genetic and phenotypic parameters for growth and reproductive traits for red deer on an unpland farm. *Anim. Prod.* 53: 227-235.
- McManus C. M. 1993. Within-farm estimates of genetic and phenotypic parameters for growth and reproductive traits for red deer. *Anim. Prod.* 57: 153-159.
- Meyer K. 1992. Variance components due to direct and maternal effects for growth traits of Australian beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 31: 179-204.
- Meyer K. 1994. Estimates of direct and maternal correlations among growth traits in Australian beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 38: 91-105.
- Neser F. W. C., Erasmus G. J. and Wyk van J. B. 2001. Genetic parameter estimates for pre-weaning weight traits in Dorper sheep. *Small Ruminant Research.* 40: 197-202.
- Notter D. R. 1998. Genetic parameters for growth traits in Suffolk and Poypay sheep. *Livest. Prod. Sci.* 55: 205-213.
- Rapley C.M. 1990. Genetic parameters of liveweight traits or red deer in New Zealand. *Proceeding of the eighth conference of the Australian Association for Animal Breeding and Genetics.* Hamilton, New Zealand, 501-507.

- Robinson D. L. 1996. Estimation and interpretation of direct and maternal genetic parameters for weights of Australian Angus Cattle. *Livest. Prod. Sci.* 45: 1-11.
- Statistical Analysis System Institute. 2001. *Statistical Analysis System (SAS) version 8*. USA.
- Tawah C. L., Mbah D. A., Rege J. E. O., and Oumate H. 1993. Genetic evaluation of birth and weaning of Gudali and two-breed synthetic Wakwa beef cattle populations under selection in Cameroon: genetic and phenotypic parameters. *Anim. Prod.* 57: 73-79.
- Tosh J. J., Kemp R. A. and Ward D. R. 1999. Estimates of direct and maternal genetic parameters for weight traits backfat thickness in a multibreed population of beef cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 79: 433-439.
- Van den Berg G. H. J. y Garrick D. J. 1997. Inheritance of adult velvet antler weights and live weights in farmed red deer. *Livest. Prod. Sci.* 49: 287-295.
- Van Vleck L. D., Pollak E. J. y Oltenacu B. E. A. 1987. *Genetics for the animal sciences*. Ed. Freeman. New York. 391 pp.

Cuadro 1. Promedios mínimo cuadráticos para peso al nacimiento (PN), peso al destete (PD), peso a los seis meses (P6M), peso al año (PA) de acuerdo al sexo y número de parto de la madre, para Ciervo Rojo (*Cervus elaphus scoticus*)

CARACTERÍSTICAS												
	n	PN (kg)		PD (kg)		P6M (kg)		PA (kg)				
		media	e.e.	n	media	e.e.	n	media	e.e.	n	media	e.e.
SEXO												
HEMBRAS	212	8.58 ^a	0.09	73	34.22 ^a	0.62	80	41.19 ^a	0.99	91	62.75 ^a	0.88
MACHOS	205	9.22 ^b	0.09	96	38.07 ^b	0.59	88	45.53 ^b	0.96	81	75.88 ^b	1.07
NÚMERO DE PARTO												
1	63	8.14 ^a	0.15	28	33.29 ^a	0.91	30	40.97 ^a	1.20	29	66.99 ^a	1.35
2	69	9.09 ^b	0.14	20	35.97 ^b	1.03	138	45.76 ^b	0.87	143	71.64 ^b	0.66
3	285	9.47 ^c	0.07	121	39.18 ^c	0.42						
AÑO DE NACIMIENTO												
1997	45	9.39 ^a	0.17									
1998	60	8.73 ^a	0.15									
1999	55	9.28 ^{cb}	0.16							15	84.90 ^a	1.94
2000	66	9.39 ^b	0.15	65	35.60 ^a	0.65	65	47.64 ^{ac}	0.79	65	57.49 ^b	0.91
2001	83	9.19 ^b	0.13	72	34.16 ^a	0.59	74	40.78 ^c	0.80	68	69.24 ^c	0.93
2002	70	8.24 ^a	0.14				25	42.74 ^a	1.24	24	65.63 ^d	1.45
2003	38	8.10 ^a	0.20	32	38.68 ^b	0.91						

a, b, c promedios con diferentes literal en renglones son estadísticamente diferentes P<0.001

n= número de observaciones

Cuadro 2. Componentes de varianza, heredabilidad y repetibilidad para las características de crecimiento de peso al nacimiento (PN), peso al destete (PD), peso a los 6 meses (P6M) y peso al año (PA) para los tres modelos estudiadas utilizando ASREML

CARACTERÍSTICA	n	VARIANZAS (kg ²)					h ² _d ± e.e.	h ² _m ± e.e.	c ² ± e.e.	Logaritmos
		σ_a^2	σ_m^2	σ_p^2	σ_e^2	σ_f^2				
MODELO 1										
PN	417	0.455			0.897	1.352	0.33 ± 0.11 ^a			-268.923
PD	169	7.413			10.941	18.354	0.40 ± 0.22 ^a			-325.983
P6M	168	1.485			28.288	29.773	0.05 ± 0.12 ^a			-368.247
PA	172	0.000			44.366	44.366	0.00 ± 0.00			-411.102
MODELO 2										
PN	417	0.152	0.198		0.969	1.321	0.11 ± 0.09	0.15 ± 0.06		-266.114
PD	169	3.414	2.491		11.842	17.749	0.19 ± 0.18	0.14 ± 0.11		-325.169
P6M	168	0.521	3.130		26.147	29.799	0.01 ± 0.10	0.10 ± 0.10		-367.772
MODELO 3										
PN	417	0.164	0.020	0.184	0.946	1.316	0.12 ± 0.09	0.01 ± 0.13	0.14 ± 0.13	-265.588
PD	169	3.416	2.492	0.000	11.846	17.754	0.19 ± 0.18	0.14 ± 0.11	0.00 ± 0.00	-325.169
P6M	168	0.611	1.425	1.968	25.771	29.769	0.02 ± 0.10	0.04 ± 0.22	0.06 ± 0.23	-367.740

n= número de observaciones, a= heredabilidad total (h^2_t), h^2_d = heredabilidad directa, h^2_m = heredabilidad materna, c^2 =varianza de los efectos maternos de ambiente permanente, e.e.= error estándar, σ_a^2 =varianza genética aditiva directa, σ_m^2 =varianza genética aditiva materna, σ_p^2 =varianza del ambiente permanente materno, σ_e^2 =varianza del error, σ_f^2 =varianza fenotípica.

VI. REFERENCIAS GENERALES

- Archer J. A., Herd R. M., Arthur P. F., Parnell P. F. 1998. Correlated responses in rate of maturation and mature size of cows and steers to divergent selection for yearling growth rate in Angus cattle. *Livest. Prod. Sci.* 54: 183-192.
- Arribal J. P. 2004. Producción de Ciervos. www.produccionbovina.com, Fac. Agr. Univ. Nac. La pampa, Argentina.
- Al-Shorepy S. A. and Notter D. R. 1996. Genetic variation and covariation for ewe reproduction, lamb growth and lamb scrotal circumference in a fall-lambing sheep flock. *J. Anim. Sci.* 74: 1490-1498.
- Bathaei S. S., Pascal L. L. 1998. Genetic and phenotypic aspects of the growth curve characteristics in Mehraban Iranian fat-tailed sheep. *Small Ruminant Research.* 29: 261-269.
- Behr de V., Hornick J. L., Cabaraux J. F., Alvarez A., Istasse L. 2001. Growth patterns of Belgian Blue replacement heifers and growing males In commercial farms. *Livest. Prod. Sci.* 71: 121-130.
- Beltran J. J., Butts W. T., Olson T. A. and Koger M. 1992. Growth Patterns of two lines of Angus cattle selected using predicted growth parameters. *J. Anim. Sci.* 70: 734-741.
- Blasco A. 2004. La descripción del crecimiento. Uni. Politécnica de Valencia. XIV Curso internacional sobre mejora genética animal 4 al 29 de Octubre. Madrid, España.
- Brown J. E., Fitzhugh H. A. and Cartwright T. C. 1976. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *J. Anim. Sci.* 42 (4): 810-818.
- Cadena-Meneses J. A. y Castillo-Morales A. 2000. Una comparación de la estimación de componentes de varianza mediante simulación. *Agrociencia.* 34: 343-352.
- Clément V., Bibé B., Verrier E., Elsen J. M., Manfredi E., Bouix J. and Hanocq E. 2001. Simulation analysis to test the influence of model adequacy and data

- structure on the estimation of genetic parameters for traits with direct and maternal effects. *Genet. Sel. Evol.* 33: 369-395.
- DeNise R. S. and Brinks J. S. 1985. Genetic and environmental aspects of the growth curve parameters in beef cows. *J. Anim. Sci.* 61 (6): 1431-1440.
- De Vos A. 1982. FAO Animal Production and Health Paper 27. Deer Farming. <http://www.fao.org/DOCREP/004/X6529E/x6529E00.htm>. 01/03/2005.
- Domínguez V. J., Núñez D. R., Ramírez V. R., y Ruiz F. A. 2003. Evaluación Genética de variables de crecimiento en bovinos Tropicarne: I. selección de modelos. *Agrociencia.* 37: 323-335.
- Fadili M. E., Michaux C., Detilleux J. and Leroy P. L. 2000. Genetic parameters for growth traits of the Moroccan Timahdit breed of sheep. *Small Ruminant Research.* 37: 203-208.
- Falconer D. S. y Mackay T. F. C. 2001. *Introducción al Genética Cuantitativa.* Ed. Acribia, España 469 pp.
- Fitzhugh H. A. 1976. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *J. Anim. Sci.* 42 (4): 1036-1051.
- García E. 1988. *Modificación al sistema de clasificación climática de Köpen.* México. 220 pp.
- Gilmour A. R., Gogel B. J., Cullis B. R., Welham S. J., Thompson R. 2002. *ASReml User Guide Release 1.0.*
- Haigh J. C. and Hudson R. J. 1993. *Farming Wapiti and Red Deer.* Ed. Mosby.
- Hanford K. J., Van Vleck L. D., and Snowden G. D. 2002. Estimates of genetic parameters and genetic change for reproduction, weight, and wool characteristics of Columbia Sheep. *J. Anim. Sci.* 80: 3086-3098.
- Hofer A. 1998. Variance component estimation in animal breeding: a review. *J. Anim. Breed. Genet.* 115: 247-265.
- Huisman A. E., Veerkamp R. F. and Van Arendonk J. A. M. 2002. Genetic parameters for various random resgresion models to describe the weight data of pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 575-582.

- INEGI, 2000 Cartas topográficas de climas de temperaturas y precipitación. Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática en México.
- Jenkins T. G. and Leymaster K. A. 1993. Estimates of maturing rates and masses at maturity for Brody components of sheep. *J. Anim. Sci.* 71: 2952-2957.
- Kaps M., Herring W. O. and Lamberson W. R. 2000. Genetic and environmental parameters for traits derived from the Brody growth curve and their relationship with weaning weight in Angus cattle. *J. Anim. Sci.* 78: 1436-1442.
- Landete-Castillejos T., García A. and Gallego L. 2001. Calf growth in captive Iberian red deer (*Cervus elaphus hispanicus*): Effects of birth and hind milk production and composition. *J. Anim. Sci.* 79: 1085-1092.
- Lee C. Van Tassell C. P. and Pollak E. J. 1997. Estimation of Genetic variance and covariance components for weaning weight in Simmental cattle. *J. Anim. Sci.* 75: 325-330.
- López de Torre G., Candotti J. J., Reverter A., Bellido M. M., Vasco P., García L. J. and Brinks J. S. 1992. Effects of growth curve parameters on cow efficiency. *J. Anim. Sci.* 70: 2668-2672.
- López S., France J., Gerrits W. J. J., Dhanoa M. S., Humphries D. J. And Dijkstra J. 2000. A generalized Michaelis-Menten equation for the analysis of growth. *J. Anim. Sci.* 78: 1816-1828.
- Maniatis N. and Pollott G. E. 2003. The impact of data structure on genetic (co)variance components of early growth in sheep, estimated using an animal model with maternal effects. *J. Anim. Sci.* 81: 101-108.
- Matika O., Van Wyk J. B., Erasmus G. J., Baker R. L. 2003. Genetic parameters estimates in Sabi Sheep. *Livest. Prod. Sci.* 79:17-28.
- McManus C. M. and Hamilton W. J. 1991. Estimation of genetic and phenotypic parameters for growth and reproductive traits for red deer on an unpland farm. *Anim. Prod.* 53: 227-235.
- McManus C. M. and Thompson R. 1993. Breeding objectives for red deer. *Anim. Prod.* 57: 161-167.

- McManus C. M. 1993. Within-farm estimates of genetic and phenotypic parameters for growth and reproductive traits for red deer. *Anim. Prod.* 57: 153-159.
- Menchaca M. A., Chase C. C., Olson T. A. and Hammond A. C. 1996. Evaluation of Growth Curves of Brahman Cattle of Various Sizes. *J. Anim. Sci.* 74: 2140-2151.
- Meyer K. 1992. Variance components due to direct and maternal effects for growth traits of Australian beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 31:179-204.
- Meyer K. 1994. Estimates of direct and maternal correlations among growth traits in Australian beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 38: 91-105.
- Mignon-Grasteau S., Piles M., Varona L., de Rochambeau H., Poivey J. P., Blasco A. And Beaumont C. 2000. Genetic analysis of growth curve parameters for male and female chickens resulting from selection on shape of growth curve. *J. Anim. Sci.* 78: 2515-2524.
- Montgomery D. C., Peck E. A., Geoffrey V. G. 2001. Introduction to linear regression analysis. Ed. John Wiley & sons, inc. 641 pp.
- Neser F. W. C., Erasmus G. J. y Wyk van J. B. 2001. Genetic parameter estimates for pre-weaning weight traits in Dorper sheep. *Small Ruminant Research.* 40: 197-202.
- Notter D. R. 1998. Genetic parameters for growth traits in Suffolk and Poypay sheep. *Livest. Prod. Sci.* 55: 205-213.
- Ocanto D., Linares T., Patiño A., Ramos C. y Escobar S. 1991. Índices de pubertad en Bovinos machos criollo Río Limón y Brahamán. *Zootecnia Tropical.* 9: 25-54.
- Olvera R. A. M. 2001. El sexo de las crías en un rebaño de ciervo rojo (*Cervus elaphus scoticus*) Neocelandés, nacidas en mesoamérica. Tesis de Maestría. UNAM-FMVZ.
- Plasse D. 1979. Aspectos de crecimiento del *Bos indicus* en el tropico Americano. *World Review of Animal Production.* 15: 21-38.

- Rapley, C. M. 1990. Genetic parameters of liveweight traits of red deer in New Zealand. *Proceeding of the eighth conference of the Australian Association for Animal Breeding and Genetics*. Hamilton, New Zealand, 501-507.
- Robinson D. L. 1996. Estimation and interpretation of direct and maternal genetic parameters for weights of Australian Angus Cattle. *Livest. Prod. Sci.* 45: 1-11.
- Statistical Analysis System Institute. 2001. *Statistical Analysis System (SAS) version 8*. USA.
- Tawah C. L., Mbah D. A., Rege J. E. O. and Oumate H. 1993. Genetic evaluation of birth and weaning of Gudali and two-breed synthetic Wakwa beef cattle populations under selection in Cameroon: genetic and phenotypic parameters. *Anim. Prod.* 57: 73-79.
- Tosh J. J., Kemp R. A. and Ward D. R. 1999. Estimates of direct and maternal genetic parameters for weight traits backfat thickness in a multibreed population of beef cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 79: 433-439.
- Uchida H., Ikeda S., Ishida M., Inoue T. and Takeda T. 2001. Growth characteristics of artificially reared Sika deer (*Cervus nippon*). *Animal Science Journal.* 72 (6): 461-466.
- Van den Berg G. H. J. y Garrick D. J. 1997. Inheritance of adult velvet antler weights and live weights in farmed red deer. *Livest. Prod. Sci.* 49:287-295.
- Van Vleck L. D., Pollak E. J. y Oltenacu B. E. A. 1987. *Genetics for the animal sciences*. Ed. Freeman. New York. 391 pp.
- Vásquez C. G., Olvera L., Sequeiros Y., Kuri M. L., Navarro V. A., Roveló A. E. and Shimada A. 2004. Nursing and feeding behavior of confined red deer (*Cervus elaphus scoticus*) in the Mexican highlands. *New Zealand Journal of Agricultural Research.* 47: 1-9.
- Willham R. L. 1972. The role of maternal effects in animal breeding: III Biometrical aspects of maternal effects in animals. *J. Anim. Sci.* 35 (6):1288-1293.
- Yerex D. y Spiers I. 1991. *Modern deer farm management*. Ed. Gp books. New Zealand. 175pp.