

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia

COMPARACIÓN DE MODELOS NO LINEALES PARA AJUSTAR LA CURVA DE CRECIMIENTO DE CIERVO ROJO (*Cervus elaphus*) EN PASTOREO

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN PRODUCCIÓN ANIMAL**



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

P R E S E N T A

ALEJANDRA SÁNCHEZ CERVANTES

Bajo la dirección de: José Guadalupe García Muñoz, Ph. D.



Junio de 2007

Chapingo, Estado de México

**COMPARACIÓN DE MODELOS NO LINEALES PARA
AJUSTAR LA CURVA DE CRECIMIENTO DE CIERVO ROJO
(*Cervus elaphus*) EN PASTOREO**

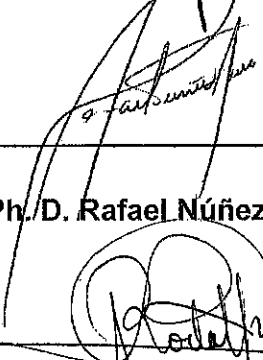
Tesis realizada por **Alejandra Sánchez Cervantes** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

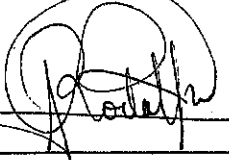
DIRECTOR: _____


Ph. D. José Guadalupe García Muñiz

ASESOR: _____


Ph. D. Rafael Núñez Domínguez

ASESOR: _____


Ph. D. Rodolfo Ramírez Valverde

Dedicatorias

A mis padres por ser la fuente y modelos de mi inspiración para seguir superándome...

Al gran amor de mi vida, Carlos Alberto, a ti que eres el motor que me impulsa a seguir adelante todos los días...

A mi lucecita, porque es mi orgullo y la luz que iluminará mi camino...

A mis hermanos María Elena, José Antonio, Gabriela, Mauricio, Rosaura, Luciano y Miguel Ángel, gracias a cada uno de ellos por su apoyo, comprensión y cariño...

A Denisse, Loly, Tino, Rafa gracias por haber compartido el tiempo durante mi estancia en Chapingo....

A todas aquellas personas que confiaron en mí....

Agradecimientos

A Dios por permitirme vivir para terminar una de las metas que me he propuesto en la vida.

A la Universidad Autónoma Chapingo y especialmente al Posgrado en Producción Animal del Departamento de Zootecnia por la oportunidad para desarrollarme profesionalmente.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) de México por el financiamiento proporcionado para el desarrollo de mis estudios de posgrado.

Al Ph. D. José G. García Muñiz por su asesoría y apoyo para la realización de la presente tesis, así como por compartir sus conocimientos y amistad.

Al Ph. D. Rafael Nuñez Domínguez y al Ph. D. Rodolfo Ramírez Valverde por su colaboración, asesoría y apoyo y porque de ellos aprendí otra forma de transmitir el conocimiento.

Al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Bovina y Caprina "Rancho Cuatro Milpas" de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM por las facilidades brindadas para el desarrollo del trabajo de investigación.

Datos Biográficos

Estudios Profesionales:

Médico Veterinario Zootecnista- Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM (1994)

Diplomado en Manejo de Fauna Silvestre Tropical - Universidad de Quintana Roo Y SEMARNAP (1998)

Diplomado en Conservación y Manejo de Vida Silvestre: Vertebrados del Trópico de México - Universidad Autónoma de Yucatán - F.M.V.Z. (2000)

Desarrollo Profesional:

Profesor de la Asignatura de Medicina y Zootecnia de Fauna Silvestre en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM.

Colaboración en una tesis a nivel Maestría, un capítulo en libro, asesoría de dos tesis a nivel Licenciatura, nueve trabajos de investigación en diferentes Congresos y Reuniones así como un artículo en revista científica.

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE APÉNDICES	VIII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Clasificación zoológica del Ciervo Rojo (<i>Cervus elaphus</i>).....	4
Desarrollo de la cervicultura	5
Producción de Ciervo Rojo a nivel mundial y en México.....	7
Generalidades sobre el crecimiento y desarrollo en rumiantes	8
Crecimiento y desarrollo en Ciervo Rojo.....	17
Modelos no lineales para ajustar curvas de crecimiento.....	27
Literatura Citada	41
III. MODELOS NO LINEALES Y EFECTO DE FACTORES AMBIENTALES SOBRE LOS PARÁMETROS DE LA CURVA DE CRECIMIENTO DE CIERVO ROJO (<i>CERVUS ELAPHUS</i>) EN PASTOREO	48
RESUMEN.....	49
SUMMARY	50
INTRODUCCIÓN.....	51
MATERIALES Y MÉTODOS	52
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
CONCLUSIONES.....	65
AGRADECIMIENTOS	65
LITERATURA CITADA	66
APÉNDICES.....	69

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Promedios para características productivas y reproductivas de importancia económica en el Ciervo Rojo (<i>Cervus elaphus</i>).....	5
Cuadro 2. Composición de la carne de diferentes especies (expresadas con base en 100 g de carne fresca).....	6
Cuadro 3. Ecuaciones biológicas derivadas de modelos de crecimiento para predecir los valores que caracterizan el crecimiento.....	30
Cuadro 4. Lugar jerárquico de los cuatro modelos para predecir curvas de crecimiento en Ciervo Rojo (<i>Cervus elaphus</i>).	59
Cuadro 5. Promedio de cuadrados medios de residuales (CMR) y de los parámetros <i>A</i> , <i>b</i> y <i>k</i> obtenidos de los cuatro modelos para ajustar curvas de crecimiento en Ciervo Rojo (<i>Cervus elaphus</i>).	60
Cuadro 6. Nivel de significancia (Probabilidad) de los efectos de sexo, año de nacimiento, época de nacimiento y número de parto para los parámetros de la curva de crecimiento del modelo de Brody, en ciervos rojos juveniles y adultos en pastoreo.....	62
Cuadro 7. Medias de cuadrados mínimos $\pm$ errores estándar por sexo, año de nacimiento, época de nacimiento y número de parto para los parámetros de la curva de crecimiento del modelo de Brody en ciervos rojos juveniles y adultos en pastoreo.....	64

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema general de los procesos que involucra el crecimiento muscular.....	9
Figura 2. Tasa de crecimiento de varios tejidos y órganos en los animales alimentados para obtener una rápida o baja tasa de crecimiento.....	10
Figura 3. Cambios de peso vivo después del destete de Ciervo Rojo en pastoreo de praderas con trébol rojo o ryegrass perenne/trébol blanco.....	21
Figura 4. Peso vivo mensual promedio por un año de ciervos de 5 a 17 meses de edad.....	24
Figura 5. Curva de crecimiento para corderos mostrando la forma sigmoidea característica.....	28
Figura 6. Curvas de crecimiento en cuatro categorías de Ciervo Rojo estimadas al aplicar el modelo de Brody.....	61

Lista de Apéndices

Apéndice 1. Programas en SAS utilizados para ajustar los modelos no lineales a las curvas de crecimiento de ciervo rojo.....	69
Apéndice 2. Programas en SAS utilizados para realizar la Prueba de Friedman.....	74
Apéndice 3. Programas en SAS utilizados para realizar los análisis de varianza para los parámetros A , b y k del modelo de Brody.....	81

I. INTRODUCCIÓN

La cervicultura es una nueva y floreciente rama de la ganadería, que se inició al tener diferentes especies de ciervos en cautiverio y al aplicar los principios zootécnicos en ellos (Dixon, 1978; Haigh y Hudson, 1993). El Ciervo Rojo (*Cervus elaphus*) se aprovecha comercialmente ya sea para producción de "velvet" (asta en crecimiento) o bien de "venison" (carne de ciervo), debido a que se obtienen buenos rendimientos en canal y canales magras, y la mayor parte de la canal está formada por cortes comerciales cuyo valor en el mercado es elevado (Seman y Mckenzie-Parnell, 1989).

La utilización de fauna silvestre se plantea como una alternativa complementaria en la producción pecuaria, debido a que aprovecha con mayor eficiencia el alimento, lo que permite extraer más peso vivo en menos tiempo; además requiere de un menor uso de medicamentos, debido a una mejor adaptación en hábitats degradados (Ocampo y Cid, 2002).

La introducción del Ciervo Rojo en México ocurrió en la década de los 90, con el objetivo de contribuir a la producción de "venison" y subproductos de forma intensiva, como una forma de diversificar las oportunidades de producción pecuaria en el país y con la acción colateral de disminuir la presión de cacería a la cual se ven sometidas las especies nativas mexicanas, tales como el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) y el venado temazate (*Mazama americana*) (Dávalos *et al.*, 1996).

El conocimiento de la forma de crecimiento de los animales es importante, ya que permite establecer esquemas de alimentación de acuerdo con los

requerimientos nutricionales en cada etapa fisiológica. Asimismo, su modelación permite estimar algunos parámetros de crecimiento como el peso maduro, la tasa de maduración y la velocidad de crecimiento, los cuales permiten tomar decisiones en la planeación y selección de las especies animales en producción, con el propósito de mejorar su eficiencia (Di Marco, 1994).

El crecimiento corporal de los animales está en función de la alimentación, de las condiciones ambientales, del estado sanitario y de las características genéticas inherentes a la especie, sexo, edad y peso corporal. Los factores ambientales, principalmente el clima, condicionan el crecimiento del animal dentro de los límites fijados genéticamente. La temperatura ambiental, horas luz, tipo de raza, sexo, parásitos, enfermedades, y competencia entre otros, pueden afectar directa o indirectamente la tasa de crecimiento de los cérvidos.

Del análisis del crecimiento corporal se pueden detectar problemas de manejo dentro del sistema de producción, de tal manera que se pueden hacer inferencias sobre las posibles mejoras, por lo que es de interés conocer la magnitud de los efectos ambientales sobre el potencial de crecimiento del Ciervo Rojo en México, debido a que estos efectos pueden alterar las tasas de crecimiento en los animales. Por otra parte es necesario generar información de características zootécnicas de importancia económica en esta especie. Con base en lo anterior, el propósito de esta tesis es revisar y comparar la bondad de ajuste de cuatro modelos no

lineales para ajustar curvas de crecimiento de Ciervo Rojo (*Cervus elaphus*) en pastoreo y evaluar el efectos de factores ambientales en los parámetros de la curva de crecimiento.

En el Capítulo II se presenta una revisión de literatura que contiene información referente a la clasificación zoológica del Ciervo Rojo, así como la evolución de la cervicultura en México. Se describen generalidades sobre el crecimiento y desarrollo de rumiantes, y para etapas específicas del Ciervo Rojo. Por último, se describen modelos no lineales para ajustar curvas de crecimiento en especies animales.

Finalmente, en el Capítulo III se presenta el artículo científico derivado del estudio de modelos no lineales y efecto de factores ambientales sobre los parámetros de la curva de crecimiento de Ciervo Rojo (*Cervus elaphus*) en pastoreo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Clasificación zoológica del Ciervo Rojo (*Cervus elaphus*)

Los cérvidos han contribuido al desarrollo de las diversas culturas que componen la civilización humana, ya que en ellos han encontrado una fuente de recursos como carne, huesos, astas, pieles y tendones (Putman, 1988).

Los ciervos pertenecen al Suborden Ruminantia y a la Familia Cervidae, esta última representada por 16 géneros vivientes, distribuidos en América, en el noreste de África, Europa, Asia, Japón, Filipinas y en gran parte de Indonesia. Algunas especies de ciervos han sido introducidas en Nueva Guinea, Australia, Nueva Zelanda y las islas Hawai (Zoological Society of San Diego, 1988).

La Familia Cervidae está compuesta a su vez por cinco subfamilias, dentro de las cuales destaca la subfamilia Cervinae, debido a que presenta la distribución geográfica más amplia a nivel mundial y abarca las especies de ciervos más populares para la crianza en cautiverio, como son: gamo (*Cervus dama*), rusa (*Cervus timorensis*), sika (*Cervus nippon*), Ciervo Rojo y wapiti (*Cervus elaphus*) (Putman, 1988). Actualmente existen 21 subespecies de Ciervo Rojo (*C. elaphus*) que se encuentran en alguna categoría de extinción, documentándose la extinción de dos subespecies de Ciervo Rojo (*C. e. canadensis* y *C. e. merriami*) en América del Norte (Zoological Society of San Diego, 1988).

Desarrollo de la cervicultura

En el Cuadro 1 se enlistan algunas de las cualidades que han convertido al Ciervo Rojo en una de las especies de cérvidos susceptibles de criarse en cautiverio, de manera intensiva para fines productivos.

Cuadro 1. Promedios para características productivas y reproductivas de importancia económica en el Ciervo Rojo (*Cervus elaphus*).

Característica	Hembra	Macho
Peso al nacimiento (kg)	8.5	8.7
Peso adulto (kg)	100	180
Peso al destete (110 días; kg)	48	54
Ganancia diaria de peso en los cervatos lactantes (g/día)	322	362
Peso al sacrificio a los 12 meses (kg)	---	100
Edad a la pubertad (meses)	16	14
Rendimiento en canal (%)	---	57
Duración de la gestación (días)	233	---
Fertilidad en primíparas (%)	70	---
Fertilidad en multíparas (%)	85	---
Vida productiva (años)	15	12

Fuente: Haigh y Hudson, 1993.

Dixon (1978), y Haigh y Hudson (1993) mencionan que el Ciervo Rojo se destaca por su adaptación al cautiverio, a diferentes climas y por tolerar el hacinamiento (80 individuos en una hectárea). En cuanto a la presentación de enfermedades infecciosas, la especie presenta baja incidencia.

Con el surgimiento de nuevas prácticas de pastoreo rotacional intensivo, el Ciervo Rojo ha transformado sus hábitos silvestres de alimentación, para convertirse en un consumidor de forraje similar a las especies domésticas, resultando en una actividad con mayor tecnificación y bajos costos de producción (Dixon, 1985; Pollard y Wilson, 2002). La carne de ciervo, conocida como "venison", posee cualidades apreciables para el mercado

europeo. Es un producto que se destaca por ser suave, magro y con bajo contenido graso (Cuadro 2). Una ventaja adicional es que la mayor parte de la canal está formada por cortes comerciales, cuyo valor en el mercado es elevado. El depósito de grasa es mínima, al contener la canal del ciervo menos de 12% de grasa cuando se sacrifica antes de la época de empadre a una edad de entre 15 y 18 meses (Seman y Mckenzie-Parnell, 1989).

Cuadro 2. Composición de la carne de diferentes especies (expresadas con base en 100 g de carne fresca).

Producto	Proteína (%)	Grasa (%)	Colesterol (mg)
Lomo de bovino ¹	22.0	4.3	56
Lomo de borrego ²	20.8	7.4	66
Lomo de cerdo ³	23.1	1.7	46
Pollo carne blanca ⁴	21.8	3.2	67
Lomo y pierna de conejo ⁵	21.9	4.0	—
Lomo de venado ⁶	22.0	3.3	62

¹Carne magra sin grasa, hueso y tejido conectivo.

²Carne magra de lomos sin grasa y hueso.

³Carne magra sin grasa y hueso, corte convencional.

⁴Pierna y pechuga sin hueso, con grasa (incluyendo la piel).

⁵Carne magra más grasa.

⁶Carne con grasa subcutánea.

Fuente: Seman y Mckenzie-Parnell, 1989.

En Nueva Zelanda, la producción y cosecha de astas en estado de terciopelo ("velvet"), constituye la actividad agropecuaria más redituable por unidad de superficie, y es aquí en donde se produce alrededor del 50% de la producción anual que se consume en el mundo. El "velvet" se utiliza en la medicina tradicional de oriente por sus propiedades estimulantes y curativas; además de que las pieles son exportadas a varias partes del mundo y tienen diversos usos (Shimada, 1997).

Producción de Ciervo Rojo a nivel mundial y en México

La fauna silvestre se plantea como una alternativa complementaria en la producción pecuaria debido a que aprovecha con mayor eficiencia las plantas nativas, permitiendo extraer más peso vivo en menos tiempo, sin la necesidad de alimentos concentrados; además de requerir un menor uso de medicamentos, debido a una mejor adaptación en hábitats degradados. La fauna silvestre en general en su estado natural tiene una supervivencia entre 8 y 15%, pero en cautiverio y con un buen manejo alcanzan entre 65 a 85% de supervivencia, lo que los vuelve muy productivos (Ocampo y Cid, 2002).

El Ciervo Rojo de origen inglés fue introducido a Nueva Zelanda en 1851. En ese país, sin tener depredadores naturales y con vegetación abundante, provocó que la población de ciervos se incrementara rápidamente. A partir de 1960 se obtuvieron más de 100,000 canales de ciervo por año, permitiendo controlar el crecimiento de las poblaciones y proveer de venison (carne de ciervo) al mercado europeo. La demanda de este producto derivó en la captura de ejemplares vivos, crianza en cautiverio y comercialización del Ciervo Rojo. La producción intensiva de ciervos se inició en los años 70 con la primera granja autorizada legalmente en el Distrito de Taupo, Nueva Zelanda (Dixon, 1978).

Para el año 2003, en México se tenían registradas 83 Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA's), en la modalidad intensiva para el manejo de Ciervo Rojo (Clemente, com. pers. 2003)¹.

¹Clemente, F. Oficio Núm. SGPA/DGVS/01656. 18 marzo 2003. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Vida Silvestre.

Generalidades sobre el crecimiento y desarrollo en rumiantes

El crecimiento corporal de los animales está en función de la alimentación, de las condiciones ambientales, del estado sanitario y de las características inherentes a la especie, sexo, edad y peso corporal. Del análisis del crecimiento corporal se pueden detectar problemas de manejo dentro del sistema de producción, de tal manera que se pueden hacer inferencias sobre las posibles mejoras (Di Marco, 1994).

El crecimiento es un aumento en la masa del tejido, debido a la producción de nuevas células. Este aumento incluye no solamente la hiperplasia (multiplicación de células) de los tejidos en la etapa temprana de la vida, sino también la hipertrofia (elongación de las células) que sufren los tejidos, a pesar de que la hiperplasia del tejido adiposo continúa a lo largo de la vida (Owens *et al.*, 1993).

Para Allen *et al.* (1979), el crecimiento neto es la diferencia entre la síntesis y la degradación de tejidos del cuerpo, especialmente en el tejido muscular (Figura 1), siendo ambos procesos continuos; por lo tanto, el depósito de proteína es una función de la síntesis y degradación de proteína intracelular, y la proliferación celular miogénica, que involucra los procesos en la replicación de las células precursoras del músculo a nivel prenatal y postnatal (células satélites).

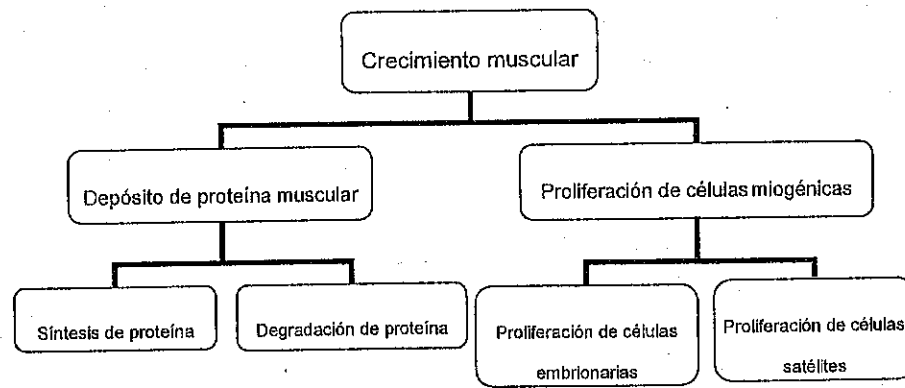


Figura 1. Esquema general de los procesos que involucra el crecimiento muscular (Fuente: Allen *et al.*, 1979).

El crecimiento y desarrollo de los rumiantes se puede dividir en prenatal, predestete y postdestete. El crecimiento prenatal es importante en la supervivencia al nacer, así como en el crecimiento y producción posterior.

La mayoría de los mamíferos nacen con casi la totalidad de fibras musculares esqueléticas que tendrán en la vida. La hiperplasia muscular ocurre principalmente antes del nacimiento, y las fibras musculares sólo aumentan ligeramente después del nacimiento (hipertrofia). Sin embargo, se ha reportado que existe un pequeño incremento en el número de fibras musculares en neonatos de ratas, ratones e infantes humanos (Allen *et al.*, 1979). El crecimiento postnatal de la masa muscular ocurre a través de la hipertrofia y a través de la replicación de las células satélite. En el músculo maduro, el proceso de miogénesis se utiliza solamente para mantenimiento y reparación del mismo (Aldana, 2002).

Owens *et al.* (1993) mencionan que algunos tejidos como las células sanguíneas, folículos de pelo, epitelios gastrointestinales, órganos del

tracto digestivo y ectodermo continúan dividiéndose a lo largo de la vida. El crecimiento diferencial es cuando los órganos y los tejidos no maduran de forma simultánea (Figura 2). El crecimiento de los tejidos óseo y muscular se ajusta a una curva sigmoidea. La forma del cuerpo cambia con el tiempo; la deposición grasa en el cuerpo es más marcada en etapas tardías de la vida.

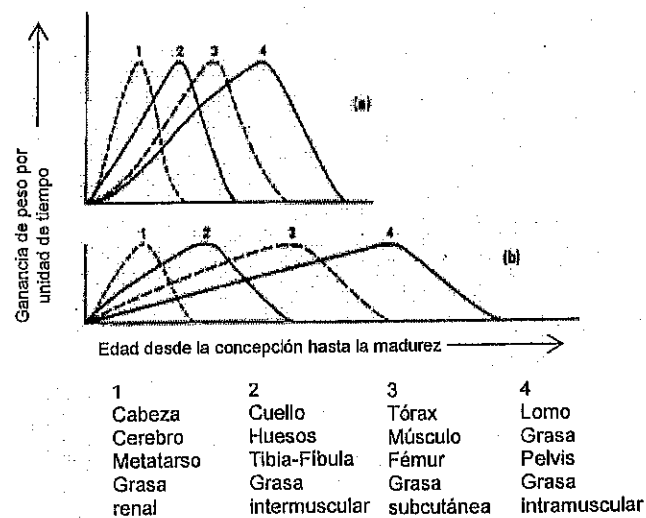


Figura 2. Tasa de crecimiento de varios tejidos y órganos en los animales alimentados para obtener una a) rápida o b) baja tasa de crecimiento (Fuente: Owens *et al.*, 1993).

La desnutrición retarda el crecimiento, y su magnitud depende de la fase de desarrollo y severidad en la cual se presente. En el estadio temprano, la desnutrición impide la división celular y el animal no puede recuperar peso, pero la recuperación de peso puede ocurrir cuando la falta de nutrientes es en la etapa de crecimiento (Owens *et al.*, 1993).

Factores condicionantes de la tasa de crecimiento

1. Crecimiento compensatorio

Si la ingesta de nutrientes de los animales en crecimiento es restringida, la tasa de crecimiento es anormal, ya que las ganancias de peso después de un periodo de restricción son mayores en comparación con los animales que no estuvieron sometidos a tal restricción. Este crecimiento compensatorio probablemente representa una hipertrofia rápida del tejido muscular. La magnitud del crecimiento compensatorio depende de varios factores como la edad del animal; el momento en que la restricción empieza; la severidad, duración y naturaleza de la subnutrición; el tipo de dieta con la que se alimenta después del periodo de restricción y el tiempo de utilizarla; y la raza del animal. El crecimiento compensatorio parece alterar la mayoría de la composición corporal durante el crecimiento, pero tiene efecto limitado en la etapa madura del animal (Owens *et al.*, 1993).

La magnitud del crecimiento compensatorio es mayor cuando se debe a una restricción de energía que de proteína (Drouillard *et al.*, 1991a,b).

2. Peso maduro o tamaño maduro

Es considerado como el punto máximo de deposición de proteína corporal, a pesar del depósito de grasa que también se da en esta etapa de la vida del animal. Una vez que se ha alcanzado el peso maduro, la ganancia de peso se debe únicamente a la acumulación de grasa (Owens *et al.*, 1993). Aunque lo anterior está genéticamente determinado, puede alterarse por factores nutritivos, hormonales y ambientales. Las diferencias de tamaño entre las

razas se deben a diferencias en tamaño del esqueleto y en el número de las células musculares (Hammond, 1961; citado por Owens *et al.*, 1993).

Taylor (1965) y Dickerson (1978) mencionan que los animales con peso maduro grande requieren mayor cantidad de energía para mantenimiento, y se ha observado que la pubertad y el tamaño maduro lo alcanzan en un periodo de tiempo mayor, comparado con los animales de tamaño maduro pequeño. Por otra parte, la restricción de energía antes o después de la pubertad reduce notablemente la cantidad de grasa en novillos finalizados a un peso específico (Lewis *et al.*, 1990).

El peso maduro de la madre está correlacionado con el peso al nacimiento de la cría, es por eso que en hembras con peso alto se incrementa la predisposición de tener crías más pesadas al nacimiento y los problemas de distocia son muy comunes (Fitzhugh, 1976). Sin embargo, cabe recordar que también el peso al nacimiento está relacionado con condiciones nutricionales de la madre, sobre todo en el último tercio de la gestación. En relación con lo anterior, y debido a que el peso al nacimiento está correlacionado con la duración de la gestación, la selección de hembras con menor periodo de gestación puede ser deseable (Dickerson, 1978).

3. Nutrición

Se ha determinado una relación importante entre la desnutrición materna y el tamaño del feto, mostrándose que es más grave en las etapas finales de la gestación. En cuanto al crecimiento después del nacimiento, Owens *et al.* (1993) mencionan que debido a las diferencias en el crecimiento y

maduración de los tejidos (Figura 2), se requiere el suministro de nutrientes en cantidad y calidad adecuada, de acuerdo con la etapa de crecimiento de los animales.

La deposición de proteína total puede ser limitada por los nutrientes o sustratos (aminoácidos, ATP) que se proporcionen, pero se ha observado que las hormonas estimulantes del crecimiento cumplen un papel principal en la regulación del mismo, ya que a pesar de contar con dietas balanceadas en cuanto a nutrientes y de acuerdo con la edad del animal, al no existir cantidades suficientes de estas hormonas, la deposición de proteína es limitada (Owens *et al.*, 1993).

4. Hormonas

Estos compuestos alteran la tasa de crecimiento o bien la composición corporal. Las hormonas endógenas (insulina, somatotropina, IGF-I y IGF-II) y exógenas, promueven la traducción, transcripción y captación de los aminoácidos en la síntesis de proteínas (Allen *et al.*, 1979). Con una deficiencia de insulina, el número de polisomas en el músculo se disminuye, mientras que con deficiencia de la hormona de crecimiento, se disminuye el número y la actividad de los ribosomas, y cesa la producción de ADN por el tejido muscular (Owens *et al.*, 1993). Un número de promotores o inhibidores de crecimiento, tales como el inhibidor de diferenciación, transferrina, y el factor de crecimiento de fibroblastos; están involucrados en el control del crecimiento del músculo o de las células satelitales de las fibras musculares (Allen *et al.*, 1979). Existen más de 80 reguladores del crecimiento en el organismo animal: iones, moléculas y sustancias, que regulan la división,

hipertrofia, diferenciación y migración de las células. La testosterona estimula la proliferación de células musculares, ya que indirectamente puede estimular la síntesis de proteína, considerándose un agente que favorece la mitosis (Allen *et al.*, 1979).

5. Genéticos

Los factores genéticos resultan de la información contenida en los genes y son de dos formas: aditivos y no aditivos. Estas combinaciones interactúan con las condiciones ambientales (clima, nutrición, y manejo) y con factores tanto intrínsecos (sexo, edad, estado fisiológico) como extrínsecos (efectos maternos, factores aleatorios) que determinan la expresión fenotípica del crecimiento (Arango y Van Vleck, 2002).

6. No genéticos

Los factores no genéticos incluyen los efectos dados por el ambiente en el cual se desenvuelve el animal, y los inherentes al animal como son sexo, edad, estado fisiológico y edad o número de parto de la madre, entre otros. El ambiente, principalmente el clima, condiciona el crecimiento del animal dentro de los límites fijados genéticamente. La temperatura ambiental, horas luz, tipo de raza, parásitos, enfermedades, y competencia, entre otros, pueden afectar directa o indirectamente la tasa de crecimiento. Es importante conocer la magnitud de los efectos ambientales, debido a que pueden controlar la ingestión del alimento y la cantidad de nutrientes requeridos para el metabolismo del animal; otros pueden alterar las concentraciones en sangre de las hormonas reguladoras del crecimiento, el flujo de sangre, y el suministro de los nutrientes a partes u órganos

específicos del cuerpo, y así alterar la tasa de crecimiento en los animales (Torner *et al.*, 1984; Owens *et al.*, 1993).

Medidas de crecimiento y desarrollo

Para Owens *et al.* (1993), las medidas del crecimiento deben basarse en una unidad que describa lo más exacto posible el cambio producido. Tradicionalmente, la medición del peso vivo a diferentes edades ha sido la forma más usada para evaluar el crecimiento, pero esta medición puede estar sometida a errores muy importantes como son las alteraciones en el llenado o vaciado del tracto digestivo y la pérdida de grasa, entre otros factores; ya que pueden alterar la composición corporal y no necesariamente la masa muscular.

1. Peso magro

Algunos autores usan el término crecimiento para los aumentos en proteína de la masa del cuerpo magro. Si el peso maduro es el punto de máximo depósito de tejido magro, la ganancia de peso adicional a este peso es grasa, y es aquí donde se puede determinar el peso comercial al sacrificio de los animales en engorda (Owens *et al.*, 1993).

2. Estatura

A veces el crecimiento se mide como tamaño o estatura (altura; longitud de huesos largos), debido a que los huesos largos dejan de aumentar en longitud después del cierre de los discos de crecimiento, por lo cual el crecimiento del hueso en forma lineal probablemente se detiene cuando ocurre este cierre. Las hormonas y la ingestión de nutrientes pueden influir

en la edad del cierre de discos de crecimiento (Oberbauer *et al.*, 1989), por lo cual éste no debe ser el único criterio para determinar la edad madura del animal, aunque este cierre se usa como un índice de madurez a nivel comercial en corderos para la edad de sacrificio.

3. Madurez sexual

Las características reproductivas se han utilizado ampliamente en vaquillas y toros como indicadores de desarrollo y maduración. Brody (1945) concluyó que la pubertad es la etapa en la cual alcanzan la mayoría de las especies el 60% del peso maduro. La pubertad se ha estimado como la edad en la cual se presenta el primer estro o producción de esperma. Aunque la pubertad está relacionada con el peso en algunas especies y con la edad en otras, para los bovinos, el peso y la edad son importantes para determinar la edad a la pubertad (Yelich *et al.*, 1992).

4. Ganancia de peso

Normalmente se calcula como la diferencia entre el peso final e inicial durante un intervalo de tiempo específico. La acumulación de músculo esquelético explica entre el 36 y el 46% de la ganancia de peso (Owens *et al.*, 1993).

La selección de animales para tasas elevadas de crecimiento o bajo contenido de grasa, frecuentemente resultan en un incremento en el peso maduro (Taylor, 1965; Owens *et al.*, 1993). Sin embargo, un aumento en la masa corporal incrementa el peso al nacimiento (lo cual puede predisponer a una distocia) y el costo de mantenimiento.

Crecimiento y desarrollo en Ciervo Rojo

Los rumiantes silvestres, como el Ciervo Rojo, presentan épocas de reproducción estacionales cortas e intensivas, que son controladas a su vez por la cantidad de horas luz y exhiben una marcada estacionalidad en cuanto a consumo voluntario de alimentos, secreción de hormonas, capas de pelo y muda de la misma de acuerdo con la época del año (Dixon, 1978; Haigh y Hudson, 1993; Rhind *et al.*, 2002).

Barry *et al.* (1998) mencionaron que el consumo de alimentos en Ciervo Rojo es estacional, así como los requerimientos de nutrientes y ganancias de peso. El crecimiento y la ingesta voluntaria de alimentos están influenciados por la calidad del alimento, disponibilidad del alimento y sobre todo por la época del año (vía hipotálamo-pituitaria). Para compensar la pérdida de peso que se registra generalmente durante el invierno, durante la primavera se presenta un crecimiento compensatorio para esta especie y es mayor en los machos que en las hembras (Rhind *et al.*, 2002).

Con una buena nutrición los ciervos criados en cautiverio alcanzan mayores pesos que los que se encuentran en vida libre, debido a las condiciones de alimentación en que se mantienen durante el cautiverio (Drew *et al.*, 1978).

Ciervos juveniles

1. Nacimiento

La variación en el peso al nacimiento está determinada por los factores que influyeron sobre la madre durante el periodo de gestación y especialmente

en el último tercio de la misma, y está correlacionado con el crecimiento postnatal (Morris *et al.*, 1986).

Kelly y Whatheley (1975) estimaron que el peso de los cervatos al nacimiento fue en promedio para los machos 6.4 kg (4.1 a 9.1 kg) y para las hembras 6.0 kg (3.9 a 8.3 kg), no mostrando diferencia significativa ($P > 0.05$). Por otro lado, Landete-Castillejos *et al.* (2001) estimaron pesos al nacimiento mayores ($P < 0.01$) en los machos que en las hembras (9.4 ± 0.7 vs 7.4 ± 0.9 kg).

Post *et al.* (1999) mencionan que en las especies poliginias, como es el caso del Ciervo Rojo, el dimorfismo sexual resulta como parte de las estrategias de reproducción. Por una parte los machos se favorecen con grandes tamaños corporales mediante un crecimiento temprano, pero en el cual la madurez se retrasa, con el objetivo de tener acceso a más hembras; mientras que para las hembras, esta selección competitiva favorece la madurez sexual a expensas del tamaño. Robbins y Moen (1975), Kelly *et al.* (1987) y Meikle *et al.* (1992) encontraron que los machos presentaron mayores tasas de crecimiento que las hembras. Por otra parte, Birgersson y Ekvall (1997) mencionan que la diferencia entre sexos se puede deber a que el macho que nace con mayor peso, requiere de mayor cantidad de alimento para cubrir sus requerimientos nutricionales y por lo tanto, la frecuencia de amamantamiento es mayor que en la hembra, lo cual estimula a su madre para que produzca mayor cantidad de leche. Otra razón por la cual se da la diferencia de crecimiento entre sexos, es que los machos asimilan los

nutrientes con mayor eficiencia y acumulan menos grasa que las hembras (Birgersson y Ekvall, 1997).

El crecimiento de los cervatos está relacionado con la ingestión de leche durante los primeros 90 días de vida (Arman, 1974), presentando crecimiento acelerado en verano y más lento en invierno (Kelly *et al.*, 1987). El crecimiento es más lento en pasturas de pobre calidad (Milne *et al.*, 1987), debido a que las hembras producen menor cantidad de leche (Loudon *et al.*, 1984). Para Clutton-Brock *et al.* (1982) y Milne *et al.* (1987), estas diferencias de peso son más marcadas durante los primeros 16 meses de edad, debido también a jerarquías sociales dentro del hato.

Los cervatos presentan patrones estacionales de crecimiento y consumo voluntario de alimentos, con mayores pesos en primavera y verano, respecto a los de invierno y otoño (Meikle *et al.*, 1992; Barry *et al.*, 1998).

Milne *et al.* (1987) estimaron que un retraso de ocho días en las fechas de nacimiento de la mayoría de los cervatos, implica una reducción de tres kilogramos al momento del destete, para los cervatos destetados en septiembre en Escocia y bajo condiciones de pastoreo. Adicionalmente, estos autores observaron que el peso al destete es un factor determinante para el peso vivo en el siguiente otoño y que la fecha de destete en septiembre tiende a ser óptima, ya que se producen cervatos más pesados durante el otoño.

2. Destete

El peso al destete es una medida del potencial de crecimiento del cervato y de las cualidades de la madre. En Nueva Zelanda, el destete de los cervatos de Ciervo Rojo es entre los 3 y 4 meses de edad (Moore *et al.*, 1985) con un peso vivo de 35 a 45 kg, lo cual pone a los cervatos bajo estrés social y nutritivo, a diferencia de los cervatos criados en vida libre, en los cuales el destete natural es a los seis meses de edad y la hembra sigue teniendo contacto con ellos, por lo menos durante los dos próximos años o más (Pollard *et al.*, 1992; Pollard y Littlejohn, 2000). Las ventajas del destete temprano son acortar el periodo para que la madre entre al empadre y para que quede gestante en la fase temprana de éste, y así el parto se realice con los primeros crecimientos de pradera en la primavera.

La forma de realizar el destete puede influir en la ganancia de peso y en el comportamiento, así como en la respuesta inmune de los cervatos al ambiente (Griffin *et al.*, 1988; Pollard *et al.*, 1992). Para Griffin *et al.* (1988), la baja respuesta inmune se debe a que durante la primera semana postdestete, el número de leucocitos encontrados en sangre de estos animales es menor, lo cual predispone a mayor susceptibilidad de enfermedades.

Pollard *et al.* (1992) compararon diferentes procedimientos de destete, observando los mejores resultados cuando los cervatos recién destetados se colocaban con hembras vacías en corrales pequeños (12 x 8 m). La ganancia de peso reportada entre 0 y 13 días postdestete fue de 1.7 ± 0.34

kg más ($P < 0.01$) para cervatos alojados en los corrales pequeños, respecto a los alojados en praderas, y 0.4 ± 0.34 kg más ($P > 0.05$) para los cervatos destetados junto con hembras que para los cervatos solos.

La curva de crecimiento de los cervatos recién destetados registrada en el hemisferio sur muestra tres fases (Figura 3): un crecimiento intermedio durante otoño, bajo crecimiento durante invierno y rápido crecimiento en primavera (crecimiento compensatorio) (Drew *et al.* 1978; Suttie *et al.*, 1983; Soetrisno *et al.* 1994; Barry *et al.*, 1998; Rhind *et al.*, 2002).

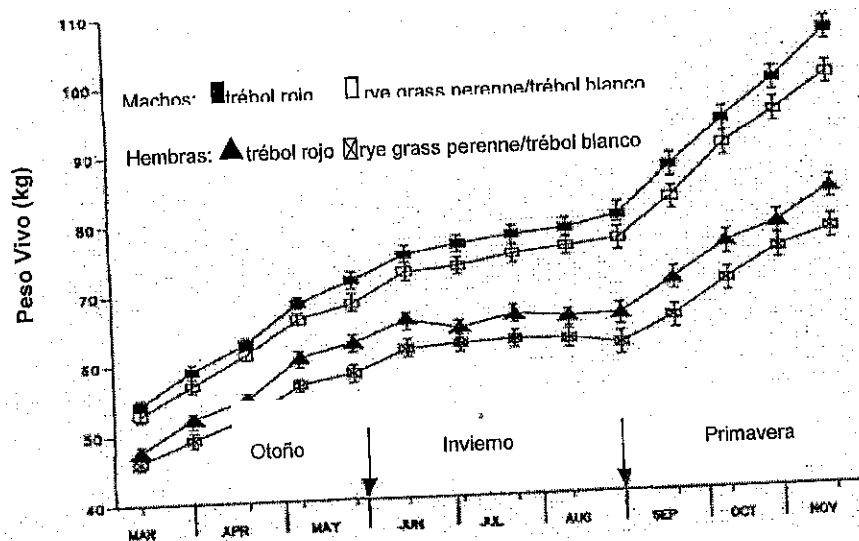


Figura 3. Cambios de peso vivo después del destete de Ciervo Rojo en pastoreo de praderas con trébol rojo o ryegrass perenne/trébol blanco (Fuente: Soetrisno *et al.*, 1994).

Judson y Nicol (1997) en Nueva Zelanda, encontraron que la ganancia diaria promedio postdestete en cervatos machos en pastoreo durante el invierno, primavera y verano fue 58, 182 y 189 g día⁻¹, respectivamente.

Para Milne *et al.* (1987) el peso vivo al destete fue una fuente importante de variación para el peso a los 16 meses de edad. El peso encontrado por

Soetrisno *et al.* (1994) para los machos a los 12 meses de edad fue 92 kg; las ganancias de peso en pastoreo fueron significativamente más altas en un sistema de pastoreo con trébol rojo (237 y 197 g día⁻¹, para machos y hembras, respectivamente), que en uno de ryegrass perenne con trébol blanco (207 y 159 g día⁻¹, para machos y hembras, respectivamente)

3. Postdestete

Para Semiadi *et al.* (1994) los pesos de ciervos machos a los 219 (± 18.6) días de edad fueron 51.2 (± 2.09) kg y para las hembras a los 232 (± 27.9) días fueron 44.6 kg (± 5.62). En general en Nueva Zelanda, los machos registraron mayor consumo de materia seca durante la primavera- verano y menor consumo en invierno. Durante el otoño (época de empadre) las hembras perdieron cerca del 4.4% del peso vivo y los machos 6.8%.

Durante la etapa de crecimiento hasta los ocho meses de edad, los machos mostraron una ganancia diaria de peso mayor que las hembras; para Blaxter y Hamilton (1980) fueron de 263 ± 8 vs 242 ± 10 g día⁻¹, y Kelly y Drew (1976) de 318 vs 287 g día⁻¹, en machos y hembras, respectivamente.

Blanc y Thériéz (1998) determinaron que una densidad alta (150 ciervos/ha) de ciervos después del destete, indujo una tensión social que afectó los patrones de pastoreo y la tasa de crecimiento, y establecieron que es uno de los principales factores que afecta el desarrollo de los animales en pastoreo, cuando existe una alta competencia por el recurso forrajero. En el experimento realizado por estos autores, utilizando hembras de 61 kg, las

ganancias diarias de peso fueron significativamente menores ($P < 0.01$) en altas densidades que en bajas densidades (184 ± 63 vs 225 ± 42 g día⁻¹).

La pubertad en las hembras está relacionada con el peso corporal, y ocurre normalmente entre los 15 y 16 meses de edad, que es cuando han alcanzado aproximadamente un 70% de su peso vivo maduro o entre 65 a 70 kg (Bray y Kelly, 1979; Haigh y Hudson, 1993). Los machos a los 27 meses de edad alcanzan 120 kg aproximadamente, lo que representa dos tercios de su peso maduro (Drew *et al.*, 1978).

Hoskin *et al.* (1999) estimaron ganancias de peso mayores ($P < 0.01$) en los machos que en las hembras durante invierno y primavera en pastoreo en Nueva Zelanda (172 vs 95 y 289 vs 211 g día⁻¹, respectivamente).

Ciervos adultos

Los cambios en los pesos vivos en el Ciervo Rojo adulto pueden ser explicados por los cambios en el consumo voluntario de alimentos más que por la eficiencia de utilización (Loudon *et al.*, 1989).

Suttie *et al.* (1987) en Nueva Zelanda, reportaron que los patrones de crecimiento y consumo de alimento están controlados por las horas luz y la época del año, pero se ha observado que su influencia es menor en las hembras que en los machos. El crecimiento acelerado que presentan los machos después de los seis meses de edad, puede deberse a que el organismo del animal comienza a secretar cantidades elevadas de testosterona (Suttie *et al.*, 1984). Durante el otoño los machos presentaron

mayores ganancias de peso que las hembras, sólo hasta antes de la época de empadre (Figura 4); dando como resultado un crecimiento estacional elevado y un tamaño corporal asintótico más elevado (Suttie *et al.*, 1987).

Los machos de Ciervo Rojo muestran una marcada estacionalidad de consumo de materia seca (CMS) y ganancia de peso, incluso cuando se les permite alimentarse *ad libitum* y con dietas de alta calidad (Fennessy, 1982).

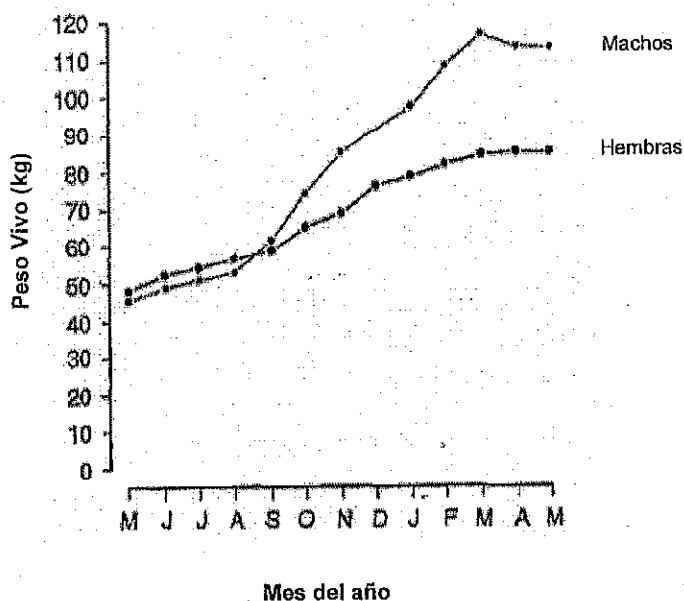


Figura 4. Peso vivo mensual promedio por un año de ciervos de 5 a 17 meses de edad (Fuente: Suttie *et al.*, 1987).

En Nueva Zelanda el CMS se incrementa en primavera y mantiene niveles elevados en verano; durante este tiempo, los machos ganan peso considerablemente y logran ganancias de peso máximas durante el verano, antes de la estación de empadre. Durante la época de empadre (otoño-invierno), los machos reducen el CMS y sufren una pérdida del orden de 25 a 30% del peso corporal, debido principalmente a la pérdida de grasa

subcutánea que sirve como reserva corporal durante ese periodo (Drew, 1985; Wallace y Davies, 1985; Stevenson *et al.*, 1992).

Jopson y Fennessy (1990) reportaron que en los años en los cuales la nutrición fue adecuada antes del periodo de empadre, la pérdida de peso vivo se debió principalmente al catabolismo de la grasa. Sin embargo, si los machos no almacenaron energía suficiente en forma de grasa antes de esta época, se ven obligados a catabolizar proteína para sobrevivir en este periodo. Stevenson *et al.* (1992) mencionaron que la pérdida de peso se debe en gran parte a la pérdida de grasa que se encuentra en el músculo, y en menor grado a la pérdida de proteína muscular, lo cual indica que el catabolismo se ve aumentado durante la época de empadre.

Después de la época de empadre, el CMS se va incrementando paulatinamente, lo que es favorecido cuando los ciervos tienen alimento *ad libitum*. Durante el invierno los pesos vivos son considerablemente más bajos que en verano. Los ciervos machos pueden sufrir un 25% de reducción en su peso corporal y pueden perder más de 80% de su energía corporal en menos de seis semanas (Drew, 1985).

En comparación con los animales domésticos, algunos herbívoros silvestres tienen una estructura corporal magra, es decir con poca grasa (menos de 100 g de grasa/kg peso vivo) (Ledger, 1968; Blaxter *et al.* 1974; Drozd *et al.* 1975; Weiner, 1977; citados por Suttie *et al.*, 1983). En los rumiantes silvestres normalmente se deposita grasa sólo intermuscularmente, a diferencia de las especies domésticas en que el depósito de grasa es

tanto intra como intermuscularmente. Estos depósitos de grasa, se ha demostrado que pueden variar de acuerdo con la época del año y la edad (Blaxter *et al.* 1974; Robbins *et al.* 1974; citados por Suttie *et al.*, 1983).

Suttie *et al.* (1983) encontraron que los mayores depósitos de grasa en machos de Ciervo Rojo eran de forma subcutánea y en el omento, y conforme el animal era de mayor edad y peso, el depósito en el omento aumentaba más que el subcutáneo. También encontraron que el consumo de alimentos en los machos se incrementó después de la época de empadre y continuó incrementándose hasta la primavera, cuando se presentó una fase de inapetencia. Así, en un ciclo anual se observaron dos picos de consumo de alimento, uno en primavera y el otro en verano. El pico que se presentó en primavera se asoció con un resurgimiento de actividad sexual, indicado por el aumento del tamaño testicular y un incremento en los niveles de testosterona.

Suttie *et al.* (1983) mencionaron que los ciervos comienzan a depositar cantidades sustanciales de grasa en el cuerpo cuando alcanzan pesos superiores a 85 kg, mientras que los ovinos y los bovinos comienzan a depositar grasa a pesos vivos bajos y en estadios tempranos del desarrollo. El ciervo puede ser una especie atractiva con canales magras a bajo peso vivo; pero a pesos vivos elevados pueden ser canales con gran cantidad de grasa como en bovinos.

Para Ball *et al.* (1994), el tamaño del astado y el peso vivo son importantes para asegurar un éxito en el macho reproductor, ya que estos dos factores

contribuyen al despliegue y la proeza luchadora, que son factores críticos para determinar la jerarquía dentro del hato y por lo tanto el éxito reproductor entre los ciervos maduros.

Modelos no lineales para ajustar curvas de crecimiento

La valoración de un modelo no lineal de crecimiento es de importancia particular en producción animal, debido a sus implicaciones prácticas como la predicción de tasas de crecimiento y de requerimientos nutricionales, permitiendo el desarrollo de esquemas de alimentación adecuados para cada una de las etapas de crecimiento (Fitzhugh, 1976).

Los pesos registrados a lo largo de la vida de los animales son difíciles de interpretar por sí solos, por lo que los modelos matemáticos se utilizan para la interpretación biológica del fenómeno (Fitzhugh, 1976; López de Torre *et al.*, 1992). La elección del modelo matemático apropiado para estudiar el crecimiento de los animales dependerá del ajuste entre los valores observados y los esperados, y de los parámetros del modelo, que deben tener significado biológico (Brown *et al.*, 1984). Los modelos no lineales de crecimiento se utilizan para el análisis del crecimiento corporal en numerosas especies productivas. Distintos autores coinciden que la forma en cómo se expresa el crecimiento hasta la forma adulta es de forma sigmoidea, a diferencia del crecimiento exponencial que experimentan los animales jóvenes del nacimiento al destete (Berlanga *et al.*, 1995).

La curva sigmoidea del crecimiento

Las curvas en forma de "S" son ampliamente utilizadas en una gran variedad de situaciones en la biología y la agricultura. Estas curvas inician en un punto fijo e incrementan su tasa de crecimiento monotónicamente hasta alcanzar un punto de inflexión. Después de esto, la tasa de crecimiento se aproxima a un valor final asintóticamente (Fitzhugh, 1976; Hyams, 1997). En la Figura 5 se muestra esquemáticamente la curva sigmoidea de crecimiento animal.

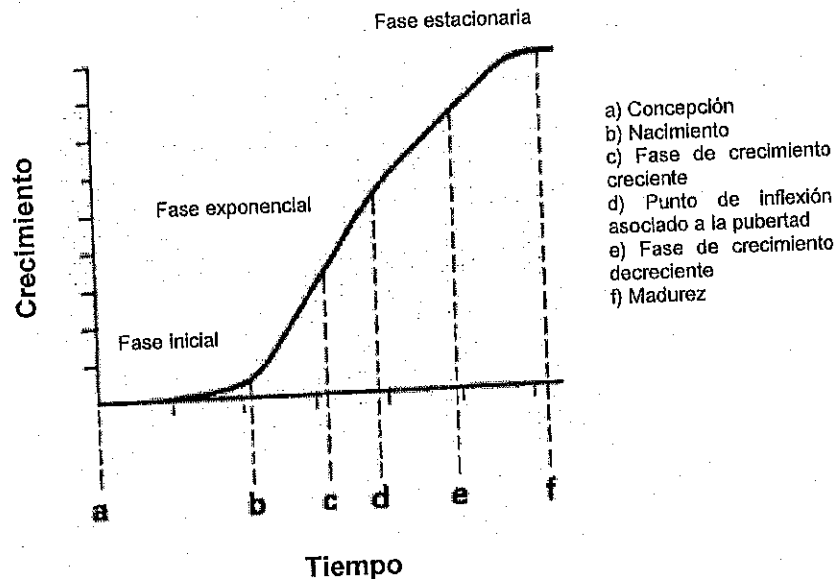


Figura 5. Curva de crecimiento para corderos mostrando la forma sigmoidea característica (Fuente: Owens *et al.*, 1993).

Owens *et al.* (1993) dividieron la curva de crecimiento, para su estudio en tres fases:

- 1) Fase inicial o "lag", durante el cual las células se preparan para crecer. Si el aporte de nutrientes es rico y estos compuestos están presentes en el

ambiente, esta fase será corta, y lo contrario sucede si existe una limitante en cuanto al aporte de nutrientes.

2) Fase de crecimiento llamada también fase exponencial o logarítmica, en la cual el potencial de crecimiento del animal es muy elevado y se realiza con ganancias de peso importantes en valor absoluto por unidad de tiempo.

3) Fase en la cual el crecimiento se detiene y entra en una fase estacionaria, en la que las ganancias de peso realizadas por unidad de tiempo son cada vez más pequeñas, hasta que finalmente el animal alcanza la madurez. En esta fase el crecimiento activo disminuye, ya que las células empiezan a morir en lugar de reproducirse.

En el punto de inflexión de la curva cesa la aceleración del crecimiento para iniciar la desaceleración del mismo, y en los animales superiores coincide con la pubertad. La estimación de este punto de inflexión puede ser influida en menor grado por el fenotipo del animal, pero sí en mayor grado por las propiedades del modelo de elección para ajustar los datos (Fitzhugh, 1976). Este punto es importante para establecer la equivalencia de edades entre especies y entre razas de una misma especie, lo que permite hacer comparaciones de crecimiento entre ellas. Matemáticamente, esta curva se puede describir como una función del peso maduro, la tasa de crecimiento fraccional y la edad (Owens *et al.*, 1993; Arango y Van Vleck, 2002). El punto de inflexión se estima mediante modelos dependientes de parámetros que pueden ser interpretados biológicamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Ecuaciones biológicas¹ derivadas de modelos de crecimiento para predecir los valores que caracterizan el crecimiento.

	Modelo				
	Brody (1945)	Von Bertalanffy (1957)	Gompertz (1932)	Logístico (1923)	Richards (1959)
Ecuación	$W_t = A(1 - be^{-kt})$	$W_t = A(1 - be^{-kt})^3$	$W_t = Ae^{-be^{-kt}}$	$W_t = \frac{A}{(1 + be^{-kt})}$	$W_t = A(1 \pm be^{-kt})^m$
Peso Inicial	$W_0 = A(1 - b)$	$W_0 = A(1 - b)^3$	$W_0 = Ae^{-b}$	$W_0 = \frac{A}{(1 + be)}$	$W_0 = A(1 \pm b)^{\frac{-1}{n}}$
Peso a Inflexión	No tiene	$W_I = \frac{A8}{27}$	$W_I = \frac{A}{e}$	$W_I = \frac{A}{2}$	$W_I = \frac{A}{(n+1)^{\frac{1}{n}}}$
Edad a Inflexión	No tiene	$t_I = \frac{(\log_e 3b)}{k}$	$t_I = \frac{(\log_e b)}{k}$	$t_I = \frac{(\log_e b)}{k}$	$t_I = \frac{-1}{k \log e \left(\frac{n}{b} \right)}$
Madurez a Inflexión	No tiene	$u_I = \frac{8}{27}$	$u_I = \frac{1}{e}$	$u_I = \frac{1}{2}$	$u_I = \frac{1}{(n+1)^{\frac{1}{n}}}$
Velocidad Absoluta	$v_a = kA \left(1 - \frac{W}{A} \right)$	$v_a = 3kW \left\{ \left(\frac{A}{W} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right\}$	$v_a = kW \log_e \left(\frac{A}{W} \right)$	$v_a = kW \left(1 - \frac{W}{A} \right)$	$v_a = \frac{-kW}{n} \left\{ \left(\frac{W}{A} \right)^n - 1 \right\}$
Velocidad Relativa	$v_r = k \frac{A}{W} \left(1 - \frac{W}{A} \right)$	$v_r = 3k \left\{ \left(\frac{A}{W} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right\}$	$v_r = k \log_e \left(\frac{A}{W} \right)$	$v_r = k \left(1 - \frac{W}{A} \right)$	$v_r = \frac{-k}{n} \left\{ \left(\frac{W}{A} \right)^n - 1 \right\}$
Grado de Madurez	$u = (1 - be^{-kt})$	$u = (1 - be^{-kt})^3$	$u = e^{-be^{-kt}}$	$u = \frac{1}{(1 + be^{-kt})}$	$u = (1 \pm be^{-kt})^{\frac{-1}{n}}$

¹W_t = peso (kg) a la edad t; e = base de los logaritmos naturales, y A, b, k = parámetros a estimar.

(Fuente: Perotto et al., 1992; Blasco, 1999).

En los bovinos para carne se registran curvas de crecimiento sigmoideo, que indican que el incremento en el peso corporal es continuo del nacimiento hasta los 30 meses de edad, con un rápido crecimiento durante la etapa juvenil, seguido por un lento crecimiento conforme se acerca a su peso maduro. El rápido incremento de peso corporal en la etapa juvenil se debe al desarrollo de estructuras óseas y masa muscular, desarrollo de órganos y tejidos del animal con poco depósito de grasa. Después de este rápido periodo de crecimiento, existe un lento aumento en el peso corporal y esto se debe principalmente al desarrollo muscular. Durante la última fase, conocida también como finalización, el aumento de peso se debe en gran parte al depósito de grasa en las diferentes partes del cuerpo del animal (Feist, 2000).

Interpretación biológica de los parámetros de la curva de crecimiento

La interpretación de estos parámetros generalmente depende de la interrelación entre factores genéticos y ambientales, la cual produce patrones particulares de crecimiento (Fitzhugh, 1976). Es frecuente encontrarse con varios parámetros cuyo significado no es el mismo entre las diferentes modelos; por ejemplo los parámetros b y k tienen valores distintos cuando se ajustan curvas con los mismos datos (Blasco, 1999).

El parámetro A: Sólo este parámetro tiene el mismo significado en todos los modelos utilizados para ajustar las curvas de crecimiento y es el valor del peso cuando t (edad) tiende a infinito. Es una estimación del peso adulto o peso maduro o peso asintótico en las curvas de crecimiento estudiadas

(Fitzhugh, 1976; Blasco, 1999). Es un parámetro que se alcanza a una edad tardía desde el punto de vista comercial, pero también depende de la cantidad de tejido graso, que es muy variable a lo largo del estado adulto del animal. La aproximación asintótica al peso adulto final es muy lenta, por lo cual es poco frecuente encontrar animales en la granja que hayan llegado al peso adulto (Fitzhugh, 1976; Blasco, 1999).

El parámetro b : Se considera como una constante de integración sin significado biológico particular, pero está ligada a las condiciones de los valores iniciales de peso inicial (W_0) y t (Fitzhugh, 1976; Blasco, 1999).

El parámetro k : Está relacionado con la pendiente de la curva y por tanto con la tasa de maduración, pero esta relación varía de acuerdo al modelo utilizado. Los valores elevados de k producen curvas de crecimiento muy convexas, mientras que los valores bajos de k producen curvas suaves, en las que el crecimiento es casi constante a través de los años y la longevidad es mayor. Para la ecuación de Brody, k es la tasa de maduración relativa que queda por realizar hasta alcanzar el estado adulto (López de Torre *et al.*, 1992; Blasco, 1999).

El punto de inflexión: Representa el momento en que el crecimiento deja de acelerarse y empieza a retardarse hasta llegar al peso adulto; coincide con el máximo de la velocidad de crecimiento. Es un punto importante en la descripción del crecimiento, en la cual la curva logística tiene el punto de inflexión a la mitad del crecimiento y la de Gompertz a $1/3$ (Blasco, 1999).

La velocidad de crecimiento: El interés económico radica principalmente en la fijación del momento de sacrificio del animal, que desde el punto de vista económico no debería sobrepasar excesivamente el momento de máxima tasa absoluta de crecimiento; pero que en algunas ocasiones, como son la venta de cabritos lactantes o por preferir el desarrollo especial de alguna parte de la canal se puede ver sacrificada. Su valor máximo coincide con el punto de inflexión de las curvas de crecimiento (Blasco, 1999).

La tasa relativa del crecimiento: También llamada tasa específica de crecimiento o velocidad relativa de crecimiento, y es un indicador para comparar líneas o especies animales. Puede expresarse como la variación del crecimiento cuando éste se expresa en coordenadas logarítmicas, y decrece con la edad (Blasco, 1999).

La tasa de madurez: Es el peso representado respecto al peso adulto. Aunque la tasa de madurez está determinada genéticamente, los factores nutricionales y hormonales pueden limitarla, alterando el tamaño maduro y el contenido de grasa de la canal a un peso determinado. Es un parámetro importante porque una parte considerable de las diferencias entre razas en crecimiento y composición de la canal, e incluso en otros caracteres relacionados, como el índice de conversión, desaparecen cuando se comparan éstas a la misma tasa de madurez (Owens *et al.*, 1993; Blasco, 1999).

El momento de sacrificio: En general se procura que el sacrificio ocurra antes de que la velocidad de crecimiento descienda demasiado y algunos

autores lo sitúan en el punto de inflexión (máxima velocidad de crecimiento) o a alguna distancia de ese punto. Sin embargo, está determinado por las características del mercado (Fitzhugh, 1976; Blasco, 1999).

Descripción de modelos para ajustar curvas de crecimiento

1. Modelo de Richards

Richards (1959) fue el primero en proponer el modelo generalizado de la ecuación de crecimiento que engloba a los otros modelos propuestos; este modelo se considera flexible y útil para el análisis biológico del crecimiento. El modelo de cuatro parámetros de Richards tiene un punto de inflexión variable; los cálculos necesarios para su ajuste requieren de más trabajo que los modelos de tres parámetros. El modelo propuesto es:

$$W_t = A(1 \pm be^{-kt})^m$$

donde:

W_t es el peso (kg) a la edad t (en días); e es la base de los logaritmos naturales; A , b , k y m son los parámetros a estimar. A es un valor asintótico para peso vivo cuando $t \rightarrow \infty$, generalmente interpretado como el peso maduro; b es una constante de integración para el parámetro en escala de tiempo que se ajusta para las situaciones en donde W_0 (peso inicial) y/o t_0 (tiempo de origen) es diferente de cero, y k es la tasa de maduración (Fitzhugh, 1976).

La constante m define, junto al signo $\pm$, la forma de la curva. Si $m = 1$, y el signo es negativo, tenemos la función de Brody. Si $m = -1$, y el signo es

positivo, tenemos el logístico. Si $m = 3$ y el signo es negativo, tenemos la de Von Bertalanffy, y si $m \rightarrow \infty$, tenemos la función de Gompertz. Suele reparametrizarse como

$$W^{1-n} = A^{1-n} (1 \pm be^{-kt})$$

porque valores de n entre 0 y 1 dan curvas entre la de Brody y la de Gompertz, y valores entre 1 y 2 entre la de Gompertz y la logística. Sin embargo, frecuentemente los errores de estimación de este parámetro son muy grandes, debido al periodo prolongado de crecimiento prácticamente lineal en los animales, lo que hace difícil detectar con precisión un punto de inflexión (Blasco, 1999; Pereda-Solís *et al.*, 2005).

Los parámetros b , k y m tienen una alta correlación que puede ocasionar problemas durante los ajustes por medio de regresión no lineal (Brown *et al.*, 1976; DeNise y Brinks, 1985). Para el modelo de Richards el parámetro k es determinado en gran parte por el valor de m (Fitzhugh, 1976). Este modelo es más apropiado para bovinos con edades superiores a los 10 meses de edad (Brown *et al.*, 1976; DeNise y Brinks, 1985; Berlanga *et al.*, 1995; Pereda y González, 2004; Pereda-Solís *et al.*, 2005).

El parámetro m : Es el punto de inflexión en la ecuación de Richards y representa el cambio en la tasa de incremento de la forma creciente a la decreciente, porque, por definición, estos modelos tienen gradiente cero en el punto de inflexión. El modelo de Brody tiene $m = 1$. El modelo de Von Bertalanffy tiene un punto fijo de inflexión ($m = 3$) relativo al peso maduro.

Debido a que esta función supone la ocurrencia de un punto de la inflexión, la fijación de las coordenadas para este punto limita su interpretación biológica (Richards, 1959; Fitzhugh, 1976; López de Torre *et al.*, 1992).

2. Modelo de Brody

Brody (1945) observó en sus estudios sobre el crecimiento en animales domésticos, que al elaborar un gráfico de edad vs longitud corporal obtenía una curva del tipo sigmoidea, es decir, que presentaba una parte creciente que puede aplicarse al crecimiento en las primeras etapas de vida de un organismo (incremento exponencial) y otra parte decreciente, que corresponde a los estadios finales del crecimiento, que cuando la edad se incrementa indefinidamente, la longitud corporal tiende a ser asintótica.

Al modelo de Brody también se le conoce como modelo monomolecular y se describe como:

$$W_t = A(1 - be^{-kt})$$

En este modelo A es el valor de W cuando $t \rightarrow \infty$, b es una constante de integración, k es la tasa de maduración y no existe punto de inflexión (Pereda y González, 2004).

Este modelo describe bien la fase final del crecimiento y es útil en especies como los bovinos (Taylor, 1965; Brown *et al.*, 1976; Fitzhugh, 1976; DeNise y Brinks, 1985; Lopez de Torre *et al.*, 1992), ya que los becerros nacen a una edad fisiológica relativamente tardía, con lo que se supera la fase inicial

que describe la función exponencial (Blasco, 1999). Este modelo ha sido el más utilizado en ganado bovino para carne debido a su fácil estimación e interpretación, ya que no influyen en gran medida los datos perdidos y debido a su bondad de ajuste, sobre todo en animales de más de seis meses de edad (Brown *et al.*, 1976; Fitzhugh, 1976; Dense y Brinks, 1985).

A pesar de las ventajas prácticas y simplicidad del modelo propuesto por Brody, algunos autores han reportado desventajas en su uso. Perotto *et al.* (1992) indicaron que de acuerdo con los análisis de residuales, este modelo sobreestimó el peso maduro de bovinos lecheros. Para Berlanga *et al.* (1995), en general este modelo tiene un buen ajuste en la descripción del crecimiento predestete de bovinos para carne, pero produce una ligera subestimación de los pesos en las primeras edades (entre los 0 y 21 días), una posterior sobreestimación (entre los 21 y los 130 días), y finalmente una ligera subestimación a partir de los 130 días.

3. Modelo de Von Bertalanffy

Von Bertalanffy (1957) llegó a la misma expresión que Brody, estableciendo que un organismo es análogo a un sistema de reacciones químicas que obedecen a la ley de acción de masas. Por lo tanto, consideró los procesos fisiológicos de los cuales depende la biomasa de un organismo en dos procesos: uno de síntesis de materia (anabolismo) y otro de destrucción de la misma (catabolismo). Asimismo, estableció que dichos procesos son proporcionales a la superficie de absorción de nutrientes, mientras que el catabolismo podría considerarse como proporcional a la biomasa total que es destruida por unidad de tiempo. Este modelo se ajusta bien a la mayor

parte de los datos observados acerca de crecimiento en varias especies de animales y es representado por el modelo:

$$W_t = A(1 - be^{-kt})^3$$

El punto de inflexión está fijo en 8/27 ó 29.63% del valor del peso adulto, por consideraciones fisiológicas, dada la dificultad que supondría el estimar los valores verdaderos en la población.

López de Torre *et al.* (1992), Berlanga *et al.* (1995) y García-Muñoz *et al.* (1998) concluyeron que el modelo de Von Bertalanffy fue el mejor modelo para ajustar curvas de crecimiento en ganado bovino; sin embargo, Brown *et al.* (1976) y DeNise y Brinks (1985) encontraron que el modelo de Von Bertalanffy sobrestima los pesos a edades tempranas. Por otra parte, Cueto *et al.* (1996) lo utilizaron para explicar el desarrollo del capibara o carpincho (*Hydrochoerus hydrochaeris*).

4. Modelo de Gompertz

Este modelo fue propuesto por Gompertz en 1825 para estudiar la tasa de natalidad y mortalidad en los humanos, y fue propuesto para estudios de crecimiento en animales por Sewall Wright en 1926 (Blasco, 1999). El modelo está definido por la ecuación:

$$W_t = Ae^{-be^{-kt}}$$

Se deriva bajo el supuesto de que el sustrato no limita el crecimiento, así que el crecimiento es proporcional al peso W , con una constante de

proporcionalidad; la efectividad del crecimiento decae con el tiempo, este decaimiento puede deberse a degradación (posiblemente de enzimas) o por la senectud (Winsor, 1932; Blasco, 1999; Pereda y González, 2004).

El punto de inflexión está fijo en $1/3$ ó 33.33% del valor del peso adulto, lo cual es cierto para algunos procesos de crecimiento, pero no para todos.

Este modelo es el que mejor describe el crecimiento en ratón, pollo, pavo, pato, conejo y cerdo, de forma que se ha convertido en una curva de crecimiento estándar en estas especies (Blasco, 1999; Mignon-Grasteau *et al.*, 2000). Para bovinos, López de Torre *et al.* (1992) reportan que existe menos sesgo al estimar el parámetro A y ha sido el modelo de elección en algunos estudios. Brown *et al.* (1976), DeNise y Brinks (1985) y Berlanga *et al.* (1995) observaron que este modelo sobrestima los pesos al nacimiento y a edades tempranas en bovinos. Perotto *et al.* (1992) mencionan que de acuerdo con los análisis de residuales, este modelo sobrestima el peso al nacimiento en bovinos lecheros.

Para el avestruz (*Struthio camelus*) (Sabbioni *et al.*, 1999) y la chinchilla (*Chinchilla lanigera*) (Álvarez *et al.*, 1997) se ha demostrado que el modelo de Gompertz es el que mejor describe el crecimiento corporal de estas especies silvestres.

5. Modelo Logístico

Verhulst en 1838 propuso un modelo para estimar el crecimiento de la población humana (Pearl y Reed, 1923). El modelo logístico se aproxima en

su primer tramo al exponencial y en su segundo al de Brody. El supuesto en este caso es que la velocidad de crecimiento es proporcional al producto del crecimiento efectuado y el que queda por efectuar (Pereda y González, 2004), y su representación matemática es:

$$W_t = \frac{A}{(1 + be^{-kt})}$$

La curva producida por este modelo es sigmoidea y simétrica (el punto de inflexión está en la mitad de la curva, $W=A/2$). A veces se usan ciertas variantes de esta curva con más parámetros, que permiten adaptar mejor la forma de la curva a los datos observados, lo que se denomina curvas logísticas generalizadas (Blasco, 1999).

Brown *et al.* (1976), Goonewardene *et al.* (1981), DeNise y Brinks (1985) y Perotto *et al.* (1992) utilizaron este modelo para describir la relación de peso-edad en el ganado bovino, y observaron que sobrestiman los pesos en las primeras etapas de vida y los subestiman en la edad adulta.

Literatura Citada

- Aldana T., J. A. 2002. Aspectos básicos de la biogénesis y algunas consideraciones prácticas. *Acta Biológica Colombiana* 7: 59-60.
- Allen, R. E., R. A. Merkel, and R. B. Young. 1979. Cellular aspects of muscle growth: myogenic cell proliferation. *Journal of Animal Science* 49: 115-127.
- Álvarez M., H. Quintana, G. Mallo y M. E. Quinn. 1997. Crecimiento corporal de chinchilla (*Chinchilla lanigera*) en un criadero comercial de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 5 (Supl. 1): 456-458
- Arango, J. A. and Van Vleck L. D. 2002. Size of beef cows: early ideas, new developments. *Genetics and Molecular Research* 1: 51-63.
- Arman, P. 1974. Parturition and lactation in red-deer. *J. British Deer Soc.* 3: 222-224.
- Ball, A. J., J. M. Thompson, and P. F. Fennessy. 1994. Relationship between velvet antler weight and liveweight in red deer (*Cervus elaphus*). *New Zealand Journal of Agricultural Research* 37: 153-157.
- Barry, T. N., P. R. Wilson, and G. Semiadi. 1998. Growth, voluntary food intake and digestion in farmed temperate and tropical deer. *Acta Veterinaria Hungarica* 46: 369-380.
- Berlanga, M. E., A. Molina, A. J. Luque, J. V. Delgado y F. Salado. 1995. Estimación de la curva de crecimiento en vacuno retinto desde el nacimiento hasta el destete. *Archivos de Zootecnia* 44: 179-192.
- Birgersson, B., and K. Ekvall. 1997. Early growth in male and female fallow deer-fawns. *Behavioral Ecology* 8: 493-499.
- Blanc, A., and M. Thériez. 1998. Effects of stocking density on the behaviour and growth of farmed red deer hinds. *Applied Animal Behaviour Science* 56: 297-307.
- Blasco, A. 1999. La descripción del crecimiento. Informe Técnico Ocasional No. 6. Disponible en <http://www.dcam.upv.es/dcia/Download/IT06.PDF> (Consultado 22 de marzo de 2006).
- Blaxter, K. L., and W. J. Hamilton. 1980. Reproduction in farmed red deer: 2. Calf growth and mortality. *Journal of Agricultural Science* 95: 275-284.
- Bray, A. R., and R. W. Kelly. 1979. Mating management and reproductive activity of intensively farmed red deer. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 39: 94-99.
- Brody, S. 1945. *Bioenergetics and Growth*. Reinhold Publishing Corp. New York, USA. 1023 p.

- Brown, J. E., H. A. Fitzhugh Jr., and T. C. Cartwright. 1976. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *Journal of Animal Science* 42: 810-818.
- Brown, R. F., D. G. Mayer, and G. M. McKeon. 1984. Choosing a curve to describe cumulative germination. *Austr. Seeds Research Conf. Queensland, Australia* 254-257.
- Cueto, G. R., M. R. Alvarez, R. Allekotte y F. O. Kravetz. 1996. Crecimiento corporal del carpincho (*Hydrochoerus hydrochaeris*) en cautiverio. XI *Jorn. Arg. de Mastozool. (Resumen A113)*. 67p.
- Dávalos F., J. L., V. Lemus R. y A. Sánchez C. 1996. Descripción del manejo zootécnico del ciervo rojo en el criadero de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM. *In* *Memorias de XX Congreso Nacional de Buiatría*. 14-16 agosto. Acapulco, Gro., México. 474 p.
- DeNise, R. S. K., and J. S. Brinks. 1985. Genetic and environmental aspects of the growth curve parameters in beef cows. *Journal of Animal Science* 61: 1431-1440.
- Dickerson, G. E. 1978. Animal size and efficiency: basic concepts. *Animal Production* 27: 367-379.
- Di Marco, O. N. 1994. Crecimiento y Respuesta Animal. *Asociación Argentina de Producción Animal*. 141 pp.
- Dixon, E. H. 1978. *Red Deer. Farming in New Zealand*. Wellington (New Zealand): Sigma Print Limited, Petone. 118 p.
- Dixon, E. H. 1985. *Advances in Deer Farming*. Wellington (New Zealand): Millwood Press LTD. 240 p.
- Drew, K. R. 1985. Meat Production from Farmed Deer. *In: Biology of Deer Production*. Royal Society of New Zealand Bulletin 22: 285-288.
- Drew, K. R., P. F. Fennessy, and G. J. Greer. 1978. The growth and carcass characteristics of entire and castrate red stags. *Proceedings of the New Zealand Society of the Animal Production* 38: 142-144.
- Drouillard, J. S., C. L. Ferrell, T. J. Klopfenstein, and R. A. Britton. 1991a. Compensatory growth following metabolizable protein or energy restrictions in beef steers. *Journal of Animal Science* 69: 811-818.
- Drouillard, J. S., T. J. Klopfenstein, R. A. Britton, M. L. Bauer, S. M. Gramlich, T. J. Wester, and C. L. Ferrell. 1991b. Growth, body composition and visceral organ mass and metabolism in lambs during and after metabolizable protein or net energy restrictions. *Journal of Animal Science* 69: 3357-3375.
- FAO. 2001. Deer Farming. Disponible en: <http://www.fao.org/DOCREP/004/X6529E/X6529E04.html>. (Consultado el 10 de marzo de 2005).

- Feist, M. 2000. Growing and Finishing Bison: Principles and Practices. Saskatchewan Agriculture and Food Reprinted from Smoke Signals Vol. XI (6): 4-9.
- Fennessy, P. F. 1982. Growth and Nutrition. In: The Farming of Deer. Agricultural Promotion Associates, New Zealand. 105 p.
- Fitzhugh, H. A. Jr. 1976. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. Journal of Animal Science 42: 1036-1051.
- García-Muñiz, J. G., C. W. Holmes, D. J. Garrick, N. López-Villalobos, B. W. Wickham, G. F. Wilson, I. M. Brookes, and R. W. Purchas. 1998. Growth curves and productivity of Holstein-Friesian cows bred for heavy or light mature live weight. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production 58: 68-72.
- Goonewardene, L. A., R. T. Berg, and R. T. Hardin. 1981. A growth study of beef cattle. Canadian Journal of Animal Science 61: 1041-1048.
- Griffin, J. F. T., L. R. Bisset, and M. W. Fisher. 1988. Influence of management stress on immunity in farmed deer. Proceedings Deer Branch of the New Zealand Veterinary Association 5: 145-163.
- Haigh, J. C., and Hudson R. J. 1993. Farming Wapiti and Red Deer. USA: Mosby-Year Book. 369 p.
- Hoskin, S. O., T. N. Barry, P. R. Wilson, W. A. G. Charleston, and P. D. Kemp. 1999. Growth and carcass production of young farmed deer grazing sulla (*Hedysarum coronarium*), chicory (*Cichorium intybus*), or perennial ryegrass (*Lolium perenne*) white clover (*Trifolium repens*) pasture in New Zealand. New Zealand Journal of Agricultural Research 42: 83-92.
- Hyams, D. 1997. Curve expert 1.34. Disponible en: <http://www.ebicom.net/~dhyams/cvxpt.htm>. (Consultado el 21 de abril de 2006).
- Jopson, N. B., and P. F. Fennessy. 1990. A pattern of plasma potassium concentrations in adult red deer stags. In: The Biology of Deer Production. Proc. 2nd Int. Symp. 32-41.
- Judson, H. G., and A. M. Nicol. 1997. Effect of feeding level on the seasonal liveweight gain of young red deer (*Cervus elaphus*) and red/elk hybrid stags. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production 57: 139-143.
- Kelly, R. W., and K. R. Drew. 1976. The behavior and growth of deer on improved pastures. Prog. Prospects New Zeal. Soc. Anim. Prod. Occ. Pub. 5: 20-25.

- Kelly, R. W., P. F. Fennessy, G. H. Moore, K. R. Drew, and A. R. Bray. 1987. Management, nutrition, and reproductive performance of farmed deer in New Zealand. In: C. M. Wemmer (ed.) *Biology and Management of the Cervidae*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC. 450 p.
- Landete-Castillejos, T., A. García, and L. Gallego. 2001. Calf growth in captive Iberian red deer (*Cervus elaphus hispanicus*): Effects of birth date and hind milk production and composition. *Journal of Animal Science* 79: 1085-1092.
- Lewis, J. M., T. J. Klopfenstein, R. A. Stock, and M. K. Nielsen. 1990. Evaluation of intensive vs extensive systems of beef production and the effect of level of beef cow milk production on postweaning performance. *Journal of Animal Science* 8: 2517-2524.
- López de Torre, G., J. J. Candotti, A. Reverter, M. M. Bellido, P. Vasco, L. J. García, and J. S. Brinks. 1992. Effects of growth curve parameters on cow efficiency. *Journal of Animal Science* 70: 2668-2672.
- Loudon, A. S. I., J. A. Milne, J. D. Curlewis, and A. S. McNeilly. 1989. A comparison of the seasonal hormone changes and patterns of growth, voluntary food intake and reproduction in juvenile and adult red deer (*Cervus elaphus*) and Père David's deer (*Elaphurus davidianus*) hinds. *Journal of Endocrinology* 122: 733-745.
- Meikle, L. M., P. F. Fennessy, M. W. Fisher, and H. J. Patene. 1992. Advancing calving in red deer: the effects on growth and sexual development. *Proceedings of the New Zealand Society Animal Production* 52: 187-190.
- Mignon-Grasteau, S., M. Piles, L. Varona, H. de Rochambeau, J. P. Poivey, A. Blasco, and C. Beaumont. 2000. Genetic analysis of growth curve parameters for male and female chickens resulting from selection on shape of growth curve. *Journal of Animal Science* 78: 2515-2524.
- Milne, J. A., A. M. Sibbald, H. A. McCormack, and A. S. I. Loudon. 1987. The influences of nutrition and management on the growth of red deer calves from weaning to 16 months of age. *Animal Production* 45: 511-522.
- Moore, G. H., G. M. Cowie, and A. R. Bray. 1985. Herd management of farmed red deer. *Biology of Deer Production*, Royal Society Bulletin 22: 343-355.
- Morris, C. A., G. L. Bennett, R. L. Baker, and A. H. Carter. 1986. Birth weight, dystocia, and calf mortality in some New Zealand beef breeding herds. *Journal of Animal Science* 62: 327-343.
- Oberbauer, A. M., W. B. Currie, L. Krook, and M. L. Thonney. 1989. Endocrine and histologic correlates of the dynamics of the metacarpal growth plate in growing rams. *Journal of Animal Science* 67: 3124-3135.

- Ocampo R., M. A., y I. A. Cid. 2002. Ecozootecnia. La producción económica y ecológica de la fauna silvestre para el desarrollo rural sustentable. *Imagen Veterinaria* 2: 15-22.
- Owens, F. N., P. Dubeski, and C. F. Hanson. 1993. Factors that alter the growth and development of ruminants. *Journal of Animal Science* 71: 3138-3150.
- Pearl, R., and L. J. Reed. 1923. On the mathematical theory of population growth. *Metron* 3: 6-19.
- Pereda S., M. E. y S. S. González M. 2004. Modelos matemáticos para el estudio del crecimiento de bovinos. *Agrofaz* 4: 529-536.
- Pereda-Solís, M. E., S. S. González-Muñoz, E. Arjona-Suárez, G. Bueno-Aguilar y G. D. Mendoza-Martínez. 2005. Ajuste de modelos de crecimiento y cálculo de requerimientos nutricionales para bovinos brahman en Tamaulipas, México. *Agrociencia* 39: 19-27.
- Perotto, D., R. I. Cue, and A. J. Lee. 1992. Comparison of nonlinear functions for describing the growth curve of three genotypes of dairy cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 72: 773-782.
- Pollard, J. C., and R. P. Littlejohn. 2000. Effects of management at weaning on behaviour and weight gain of farmed red deer calves. *Applied Animal Behaviour Science* 67: 151-157.
- Pollard, J. C., R. P. Littlejohn, and J. M. Suttie. 1992. Behaviour and weight change of red deer calves during different weaning procedures. *Applied Animal Behaviour Science* 35: 23-33.
- Post E., R. Langvatn, M. C. Forchhammer, and N. Ch. Stenseth. 1999. Environmental variation shapes sexual dimorphism in red deer. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 96: 4467-4471.
- Putman, R. 1988. *The Natural History of Deer*. New York (USA): Comstock Publishing Associates. 191 p.
- Richards, F. J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* 10: 290-300.
- Rhind, S. M., Z. A. Archer, and C. L. Adam. 2002. Seasonality of food intake in ruminants: recent developments in understanding. *Nutrition Research Reviews* 15: 43-65.
- Robbins, C. T., and A. N. Moen. 1975. Milk consumption and weight gain of white-tailed deer. *Journal of Wildlife Management* 39: 355-360.
- Sabbioni, A., P. Superchi, A. Bonomi, A. Summer, and G. Boidi. 1999. Growth curves of intensively reared ostriches (*Struthio camelus*) in northern Italy. *In The 50th EAAP Congress, Zurich. 22-26 August. 1999.*

- Seman, D. L., and J. M. McKenzie-Parnell. 1989. The nutritive value of meat as food. *Meat Production and Processing* 11: 13-28.
- Semiadi, G., P. D. Muir, and T. T. Barry. 1994. Voluntary feed intake, growth and efficiency of feed conversion in growing sambar (*Cervus unicolor*) and red deer (*Cervus elaphus*). *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 54: 63-65.
- Shimada, A. 1997. Perspectivas económicas para la producción de ciervo rojo en México. In: *Memorias del curso teórico-práctico Producción de astas (velvet) de ciervo rojo*. 16-17 de mayo. Ajuchitlán, Qro., México. pp: 57-62.
- Soertriso, E., T. N. Barry, P. R. Wilson, J. Hodgson, and R. W. Purchas. 1994. Effects of grazing red clover (*Trifolium pretense*) or perennial ryegrass (*Lolium perenne*)/white clover (*Trifolium repens*) pastures upon growth and venison production from weaner red deer (*Cervus elaphus*). *New Zealand Journal of Agricultural Research* 37: 19-27.
- Stevenson, J. M., D. L. Seman, and R. P. Littlejohn. 1992. Seasonal variation in venison quality of mature, farmed red deer stags in New Zealand. *Journal of Animal Science* 70: 1389-1396.
- Suttie, J. M., E. D. Goodall, K. Pennie, and R. N. B. Kay. 1983. Winter food restriction and summer compensation in red deer stags (*Cervus elaphus*). *British Journal of Nutrition* 50: 737-741.
- Suttie, J. M., G. A. Lincoln, and R. N. B. Kay. 1984. Endocrine control of antler growth in red deer stags. *Journal of Reproduction and Fertility* 71: 7-15.
- Suttie, J. M., P. F. Fennessy, B. A. Veenvliet, R. P. Littlejohn, M. W. Fisher, I. D. Corson, and R. E. Labes. 1987. Energy nutrition of young red deer (*Cervus elaphus*) hinds and a comparison with young stags. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. 47: 111-113.
- Taylor, C. S. 1965. A relation between mature weight and time taken to mature in mammals. *Animal Production*. 7: 203-220.
- Torner M., C., L. E. Pérez G., J. M. Berruecos V. y C. Vásquez P. 1984. Efectos medioambientales que influyen en el peso al destete, al año y a los 18 meses. Estimación de heredabilidad para estas características en un hato Brahman comercial en el trópico mexicano. *Técnica Pecuaria en México* 46: 58-64
- Von Bertalanffy, L. 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. *Quarterly Reviews of Biology* 32: 217-231.
- Wallace, V., and A. S. Davies. 1985. Pre- and post-rut body composition of Red Deer stags. In: *Biology of Deer Production*. Royal Society of New Zealand Bulletin 22: 291.

Winsor, C. P. 1932. The Gompertz curve as a growth curve. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 18: 1-8.

Yelich, J. V., R. P. Wettemann, H. G. Dolezal, K. S. Lusby, and D. K. Bishop. 1992. Growth rate and body composition of beef heifers at puberty. Journal of Animal Science 70 (Suppl. 1): 276 (Abstr.).

Zoological Society of San Diego. 1988. A Deer of many lands -A guide to the subspecies of the Red Deer *Cervus elaphus*. San Diego California (USA). ZOONOS. 62: 10

III. MODELOS NO LINEALES Y EFECTO DE FACTORES AMBIENTALES SOBRE LOS PARÁMETROS DE LA CURVA DE CRECIMIENTO DE CIERVO ROJO (*Cervus elaphus*) EN PASTOREO

Alejandra Sánchez Cervantes^{1,3}

José Guadalupe García Muñiz²

Rafael Núñez Domínguez²

Rodolfo Ramírez Valverde²

José Luis Dávalos Flores³

Vicente Lemus Ramírez³

¹ Parte de la tesis de Maestría en Ciencias en Producción Animal del primer autor.

² Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5, Carretera México-Texcoco, Chapingo, 56230, Estado de México, México.

³ Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Animal en Altiplano. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria 3000, México D.F.

RESUMEN

El objetivo del estudio fue comparar la bondad de ajuste de cuatro modelos no lineales para ajustar curvas de crecimiento de Ciervo Rojo (*Cervus elaphus*) en pastoreo y evaluar el efecto de factores ambientales en los parámetros de la curva de crecimiento del mejor modelo de ajuste. Los registros de peso y edad de 240 Ciervos Rojos juveniles y adultos (machos y hembras) en pastoreo se analizaron con regresión no lineal, ajustando los modelos de Brody, Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico. Los parámetros obtenidos con la curva de mejor ajuste se sometieron a análisis de varianza para evaluar la influencia de factores ambientales. Se encontraron diferencias ($P < 0.05$) en la bondad de ajuste de los modelos para describir apropiadamente la curva de crecimiento de Ciervo Rojo en pastoreo. El modelo de mejor ajuste ($P < 0.05$) fue el propuesto por Brody, por lo cual se recomienda su uso para describir curvas de crecimiento en Ciervo Rojo en condiciones similares. Los análisis de varianza para los parámetros de la curva de crecimiento mostraron efectos importantes ($P < 0.05$) de sexo y año de nacimiento del cervato para los parámetros A , b y k de las curvas de crecimiento de ciervos juveniles, y A y b de las de ciervos adultos.

Palabras clave: Ciervo Rojo (*Cervus elaphus*), Pastoreo, Curvas de Crecimiento.

SUMMARY

The objectives of the study were to compare the goodness of fit of four nonlinear equations to describe the growth curve of grazing farmed red deer (*Cervus elaphus*), and to evaluate environmental effects on growth curve parameters of the equation of best fit. Weight-age records of 240 adult and juvenile red deer were analyzed by nonlinear regression, fitting the Logistic equation and the Brody, Von Bertalanffy, and Gompertz equations. The growth curve parameters obtained with the equation of best fit were submitted to analysis of variance to evaluate the effect of environmental factors. There were differences ($P < 0.05$) in the goodness of fit of the equations compared. The equation of the Brody provided the best fit to the data ($P < 0.05$), and its use is recommended for describing growth curves of farmed red deer under conditions similar to the those of this experiment. The analyses of variance for the growth curve parameters of the equation of best fit showed important effects ($P < 0.05$) of sex and year of birth for parameters A , b , and k of Brody's growth curve, and for parameters A , and b of adult deer.

Key words: Farmed Red deer (*Cervus elaphus*), Grazing, Growth Curves.

INTRODUCCIÓN

El Ciervo Rojo (*Cervus elaphus*) es una especie que criada en pastoreo puede dar una alta producción de carne (venison) y asta en crecimiento (velvet), por su capacidad de adaptarse a diferentes climas y tolerar manejos diversos, manteniendo una buena tasa de reproducción (Fennessy, 1982; Dixon, 1985; Haigh y Hudson, 1993). Al igual que otras especies domésticas, esta especie consume forraje en pastoreo y responde favorablemente al control y tecnificación del pastoreo con un bajo costo de producción (Dixon, 1985; Pollard y Wilson, 2002).

Un modelo de crecimiento es importante en producción animal, ya que es una herramienta útil para establecer esquemas de alimentación de acuerdo con los requerimientos nutricionales en cada etapa fisiológica. Asimismo, permite estimar algunos parámetros de crecimiento como el peso maduro, la tasa de maduración y la velocidad de crecimiento, entre otros, que son importantes económicamente, lo cual permite tomar decisiones en la planeación y selección de las especies animales en producción, y hacerlas más eficientes (Di Marco, 1994; López *et al.*, 2000).

Se han desarrollado varios modelos para describir y analizar el crecimiento de sistemas biológicos (Fitzhugh, 1976), la mayoría de los cuales describen un comportamiento sigmoideo, donde la elección del más apropiado se basa en que los resultados originados al aplicar el modelo tengan un significado biológico (Brown *et al.*, 1984). La interpretación de los parámetros de los modelos de crecimiento generalmente depende de entender la

interrelación entre factores genéticos y ambientales, la cual produce patrones particulares de crecimiento (Fitzhugh, 1976).

La reciente introducción de Ciervo Rojo bajo el sistema de pastoreo a nuestro país, trae como consecuencia la necesidad de caracterizarlo y conocer su comportamiento productivo mediante el ajuste de las curvas de crecimiento bajo las condiciones de México.

Debido a lo anterior, el objetivo del presente estudio fue comparar cuatro modelos no lineales para ajustar curvas de crecimiento de Ciervo Rojo en pastoreo y evaluar efectos ambientales en los parámetros de la curva de crecimiento con el mejor modelo de ajuste.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen de la información

Se consideraron los registros de peso y edad de Ciervos Rojos, colectados entre 1996 y 2003 en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Bovina y Caprina de la FMVZ de la UNAM, en Tepetzotlán, Estado de México, ubicada a 19° 43' N, 94° 14' W y a una altitud de 2450 m (García, 1988).

Un total de 240 individuos (150 hembras y 90 machos) proporcionaron 7552 observaciones de peso y edad. El promedio de registros de peso y edad por animal fue de 30 (con un mínimo de 11 y un máximo de 48). Se clasificaron de acuerdo con la edad, en juveniles (de 1 a 750 días) y adultos (de 1 a 4500 días), y de acuerdo con el sexo, en machos y hembras.

Alimentación y manejo

Los ciervos se mantuvieron en pastoreo rotacional intensivo en praderas mixtas de alfalfa (*Medicago sativa*), trébol blanco (*Trifolium repens*), ballico perenne (*Lolium perenne*) y pasto ovillo (*Dactylis glomerata*). En invierno, debido a la disminución de la oferta de forraje en las praderas, los animales recibieron un concentrado comercial con 12 a 14% de proteína cruda como suplemento.

Excepto durante la época de empadre (octubre a diciembre), los ciervos se agruparon en diferentes potreros de acuerdo con la siguiente clasificación: hembras adultas gestantes, hembras adultas con cría, recria (cervatos de 5 a 10 meses de edad), engorda y sementales.

Durante la época de partos (mayo a julio) se minimizó el manejo físico de las hembras gestantes y las hembras con crías. El destete de la mayoría de los cervatos se llevó a cabo en septiembre, con edades promedio de 97.8 ± 18.0 y 99.4 ± 19.0 días, para las hembras y machos, respectivamente.

Anualmente se aplicaron bacterinas contra enfermedades clostridiales y leptospirosis a todo el hato durante el mes de abril (previo a las pariciones). De acuerdo con los resultados de los exámenes coproparasitológicos, se realizó la desparasitación correspondiente.

Descripción de los modelos

Los registros de peso y edad de cada animal se ajustaron por regresión no lineal utilizando el procedimiento NLIN de SAS (SAS, 2001) en los modelos

siguientes:

$$W_t = A(1 - be^{-kt}) \quad \text{Brody (Brody, 1945)}$$

$$W_t = A(1 - be^{-kt})^3 \quad \text{Von Bertalanffy (Von Bertalanffy, 1957)}$$

$$W_t = Ae^{-be^{-kt}} \quad \text{Gompertz (Winsor, 1932)}$$

$$W_t = A(1 + be^{-kt})^{-1} \quad \text{Logístico (Pearl y Reed, 1923)}$$

donde:

W es el peso (kg) a la edad t (en días); e es la base de los logaritmos naturales; A , b y k son los parámetros a estimar. A es un valor asintótico para peso vivo cuando $t \rightarrow \infty$, generalmente interpretado como el peso maduro; b es una constante de integración para el parámetro en escala de tiempo que se ajusta para las situaciones en donde W_0 (peso inicial) y/o t_0 (tiempo de origen) es diferente de cero, y k es la tasa de maduración (Fitzhugh, 1976). En el Apéndice 1 se muestran los programas en SAS utilizados para ajustar los modelos.

Cada modelo se ajustó en forma independiente para cada una de las siguientes categorías: hembras juveniles o adultas y machos juveniles o adultos. Las propiedades de estos modelos fueron dadas por Fitzhugh (1976).

Criterios de comparación de los modelos

La bondad de ajuste de los modelos se derivó de la comparación de la magnitud de los cuadrados medios de residuales de las curvas individuales (CMR), con el fin de obtener la jerarquización de las ecuaciones para cada ciervo; esto último se realizó mediante el procedimiento RANK de SAS (SAS, 2001). Los lugares jerárquicos de las ecuaciones por categoría y sexo se compararon usando la prueba de Suma de Rangos de Friedman (Myles y Wolfe, 1973). La significancia ($\alpha = 0.05$) de las diferencias entre valores jerárquicos de pares de ecuaciones consideró la siguiente expresión:

$$|R_j - R_i| > t_{1-\frac{\alpha}{2}} \left[\frac{2b(A_2 - B_2)}{(b-1)(k-1)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

donde:

R_i y R_j son las sumas de los valores jerárquicos obtenidos para cada modelo.

$$A_2 = \sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^k [R_{ij}]^2 \quad B_2 = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^k R_i^2$$

b = número de curvas de crecimiento consideradas, y

k = número de ecuaciones comparadas.

Cuando $|R_j - R_i|$ fue mayor que $t_{1-\frac{\alpha}{2}} \left[\frac{2b(A_2 - B_2)}{(b-1)(k-1)} \right]^{\frac{1}{2}}$, se consideró que las diferencias fueron significativas entre ese par de ecuaciones. En el Apéndice 2 se muestran los programas en SAS utilizados para realizar la prueba de Friedman.

Un criterio adicional de comparación de los modelos fue el cálculo del estadístico de Durbin-Watson (D), que prueba la presencia de autocorrelación (AC) de primer orden en los residuales de un modelo de regresión. Esta prueba compara el residual de W_t (e_t) con el residual de W_{t-1} (e_{t-1}) y produce el siguiente estadístico para medir la significancia de la correlación entre las mediciones sucesivas (Seber y Wild, 1989):

$$D = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=2}^n (e_i)^2}$$

De acuerdo con el valor del estadístico y en función del número de parámetros de los modelos de crecimiento comparados, se determinaron los casos de curvas de crecimiento con AC de primer orden, para probar si los residuales fueron aleatoriamente distribuidos (Durbin y Watson, 1951).

Por último, un tercer criterio de comparación consideró el porcentaje de casos de curvas de crecimiento para los cuales no existió solución en cada modelo. Esto debido a la falta de convergencia en el procedimiento iterativo,

con un número máximo de 200 iteraciones para alcanzar la convergencia en cada modelo de crecimiento.

Efectos ambientales sobre los parámetros de la curva de crecimiento

Los parámetros A , b y k de la curva de crecimiento del modelo que produjo el mejor ajuste se examinaron para evaluar el efecto de factores ambientales, utilizando el procedimiento MIXED de SAS (SAS, 2001). El análisis de varianza se hizo por separado para los parámetros de las curvas de crecimiento de juveniles y de adultos.

Con el propósito de reducir el desbalance en los datos e incrementar el número de observaciones por año de nacimiento, se agruparon los años de 1996 a 1997 en un mismo subgrupo; así como los años 2000 a 2002 en otro subgrupo. Para época de nacimiento se agruparon en época de seca (diciembre a mayo) y lluvias (junio a agosto). Por último, para formar los grupos de número de parto del que proviene el individuo, las hembras con cinco o más partos se clasificaron en el mismo grupo. Después de eliminar interacciones no significativas de primer orden ($P > 0.05$), el modelo lineal mixto utilizado tanto para juveniles como adultos fue el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + \text{Sexo}_i + \text{AñoNacmto}_j + \text{EpocaNacmto}_k + \text{NumParto}_l + \text{Padre}_m + e_{ijklm}$$

Donde:

Y_{ijklm} = es cualquiera de los parámetros de la curva de crecimiento (A , b o k),

Sexo_i = efecto fijo del i -ésimo sexo (i = hembra, macho),

AñoNacmto_j = efecto fijo del j-ésimo año de nacimiento ($j = 1997, 1998, 1999, 2000$),

EpocaNacmto_k = efecto fijo de la k-ésima época de nacimiento ($k = \text{lluvias, seca}$),

NumParto_l = efecto fijo de l-ésimo número de parto del que proviene el individuo ($l = 1, 2, 3, 4, 5$),

Padre_m = efecto aleatorio del m-ésimo padre de la cría $\sim \text{NI}(0, \sigma_p^2)$,

e_{ijklm} = efecto aleatorio de residual $\sim \text{NI}(0, \sigma_e^2)$.

En el Apéndice 3 se muestran los programas en SAS utilizados para el análisis de los parámetros A , b y k .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 4 muestra la jerarquización de los cuatro modelos para cada categoría y sexo de Ciervo Rojo. Para los ciervos juveniles, en las hembras no hubo diferencias entre los cuatro modelos comparados; y en los machos, el mejor ajuste lo proporcionaron los modelos de Brody y Von Bertalanffy. Para el caso de los ciervos adultos, el desempeño de los modelos fue diferente dependiendo del sexo. Mientras que para las hembras el mejor ajuste lo proporcionó el modelo de Brody, para los machos no hubo diferencias entre los modelos comparados.

Para todas las categorías y sexo de ciervo rojo, el orden de los modelos fue siempre el mismo (de mejor a peor): Brody, Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico. La no diferencia estadística entre modelos ($P > 0.05$) para ciervos

juveniles hembras y adultos machos puede ser debida a la poca cantidad de observaciones (36 y 10, respectivamente).

Cuadro 4. Lugar jerárquico de los cuatro modelos para predecir curvas de crecimiento en Ciervo Rojo (*Cervus elaphus*).

Lugar Jerárquico [§]	Modelo ¹	Juveniles		Adultos	
		Hembras (n= 36)	Machos (n= 80)	Hembras (n= 114)	Machos (n= 10)
1	Brody	a	a	a	a
2	Von Bertalanffy	a	a	b	a
3	Gompertz	a	b	c	a
4	Logístico	a	b	d	a

¹Brody, $W_t = A(1 - be^{-kt})$; Von Bertalanffy, $W_t = A(1 - be^{-kt})^3$; Gompertz, $W_t = Ae^{-be^{-kt}}$; Logístico, $W_t = A(1 + be^{-kt})^{-1}$.

[§] Dentro de categoría y sexo, diferentes literales en columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

En el Cuadro 5 se presentan los promedios de los CMR y de los parámetros A , b y k para cada uno de los modelos estudiados. El modelo de Brody (Brody, 1945) mostró la menor ($P < 0.05$) magnitud de los CMR para las diferentes categorías y sexos, lo que consistentemente lo ubica como el mejor modelo para el ajuste de las curvas de crecimiento de los animales en este estudio.

En general para todas las categorías y sexo, el porcentaje de casos que presentaron AC fue 14, 21, 27 y 34% para los modelos de Brody, Von Bertalanffy, Gompertz y Logístico, respectivamente. Por último, el porcentaje de casos de curvas de crecimiento en los cuales no existió solución para el modelo, debido a la falta de convergencia en el procedimiento iterativo fue 75 y 59% para los modelos de Gompertz y Logístico, respectivamente; a diferencia de los modelos de Brody y Von Bertalanffy, los cuales no

presentaron problemas de convergencia. Lo anterior confirma la ventaja del modelo de Brody bajo cualquiera de los criterios de comparación estudiados.

Cuadro 5. Promedio de cuadrados medios de residuales (CMR) y de los parámetros A , b y k obtenidos de los cuatro modelos para ajustar curvas de crecimiento en Ciervo Rojo (*Cervus elaphus*).

Categoría	Sexo	n	Modelo ¹	CMR	Parámetros [§]		
					A	b	k
Juveniles	Hembra	36	Brody	11.5	79.3	0.871	0.0061
			Von Bertalanffy	13.5	70.0	0.454	0.0095
			Gompertz	15.4	65.3	1.700	0.0119
			Logístico	19.0	63.2	3.504	0.0165
	Macho	80	Brody	27.5	218.5	0.931	0.0017
			Von Bertalanffy	30.2	161.3	0.521	0.0037
			Gompertz	39.3	110.3	1.896	0.0063
			Logístico	42.2	104.8	4.277	0.0091
Adultos	Hembra	114	Brody	39.8	111.8	0.866	0.0021
			Von Bertalanffy	44.9	107.3	0.514	0.0054
			Gompertz	46.0	105.5	2.112	0.0070
			Logístico	49.2	104.3	8.712	0.0135
	Macho	10	Brody	158.1	178.3	0.923	0.0018
			Von Bertalanffy	164.6	169.7	0.509	0.0027
			Gompertz	178.6	163.5	2.036	0.0040
			Logístico	223.2	158.9	11.213	0.0116

¹Brody, $W_t = A(1 - be^{-kt})$; Von Bertalanffy, $W_t = A(1 - be^{-kt})^3$; Gompertz, $W_t = Ae^{-be^{-kt}}$; Logístico, $W_t = A(1 + be^{-kt})^{-1}$.

[§] A , peso maduro (kg); b , constante de integración y k tasa de maduración (d^{-1})

Las curvas de crecimiento de Ciervo Rojo para las diferentes categorías de edad ajustadas al modelo de Brody se presentan en la Figura 6. La diferencia en la forma de las curvas de juveniles y adultos se debió fundamentalmente a las diferencias en la escala de tiempo, ya que mientras los juveniles presentaron registros de peso hasta los 750 días de edad, los adultos presentaron registros de peso a edades mayores que 4000 días. De acuerdo con lo anterior, se observó que el peso maduro en los ciervos adultos, lo alcanzan más allá de los 1000 días de edad, razón por la cual el

emplear datos incompletos para el caso de ciervos juveniles puede sobreestimar o subestimar los parámetros de crecimiento.

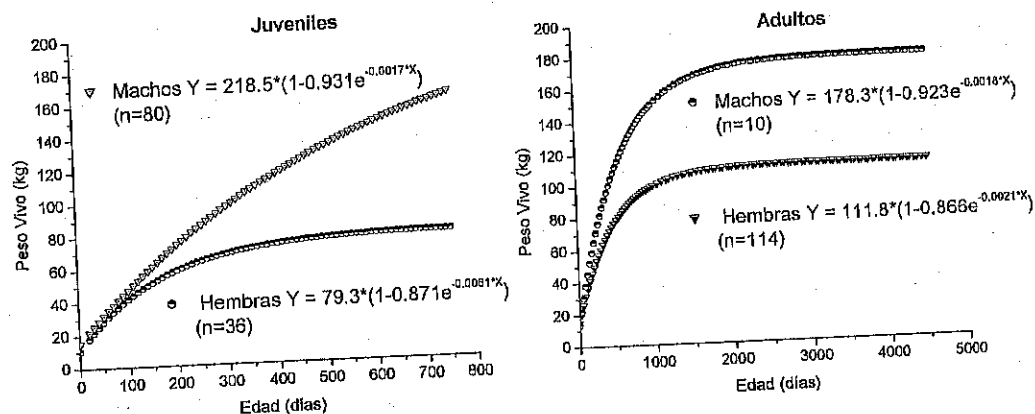


Figura 6. Curvas de crecimiento en cuatro categorías de Ciervo Rojo estimadas a través del modelo de Brody.

En evaluaciones de crecimiento de bovinos, varios autores reportaron que el modelo de Brody proporcionó el mejor ajuste, especialmente en datos de crecimiento de ganado para carne con más de seis meses de edad (Taylor, 1965; Brown *et al.*, 1976; Fitzhugh, 1976; DeNise y Brinks, 1985; López de Torre *et al.*, 1992; Berlanga *et al.*, 1995; Abreu *et al.*, 2004). Sin embargo, para Perotto *et al.* (1992) este modelo sobreestimó el peso maduro en bovinos lecheros, condición que se observó en el presente estudio con los ciervos juveniles machos, en los que el modelo proyecta un peso maduro de 218.5 ± 76.2 kg, mientras que en los machos adultos este peso fue de 178.3 ± 20.7 kg. Por otro lado, en hembras juveniles el modelo subestimó el peso maduro en comparación con el de las hembras adultas (79.3 ± 25.3 vs. 111.8 ± 12.1 kg, respectivamente).

Efectos ambientales sobre parámetros de crecimiento

En el Cuadro 6 se presentan los resultados del análisis de varianza con los efectos fijos incluidos en el modelo para los parámetros evaluados y en ambas categorías de animales. En los ciervos juveniles el sexo afectó ($P < 0.01$) los diferentes parámetros de la curva de crecimiento (A , b y k); mientras que el año de nacimiento sólo afectó ($P < 0.05$) los parámetros A y k . En ciervos adultos tanto el sexo como el año de nacimiento afectaron ($P < 0.05$) los parámetros A y b , mientras que el parámetro k no tuvo influencia ($P > 0.10$) de los factores ambientales.

Cuadro 6. Nivel de significancia (Probabilidad) de los efectos de sexo, año de nacimiento, época de nacimiento y número de parto para los parámetros^s de la curva de crecimiento del modelo de Brody, en ciervos rojos juveniles¹ y adultos² en pastoreo.

Fuente de Variación	Juveniles			Adultos		
	A	b	k	A	b	k
Sexo	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.9883
Año de nacimiento	0.0321	0.0914	0.0023	0.0432	0.0045	0.1918
Época de nacimiento	0.8872	0.8758	0.5156	0.3727	0.1073	0.9112
Número de parto	0.7478	0.7297	0.3994	0.1240	0.7362	0.1045

^sA, peso maduro (kg); b, constante de integración y k tasa de maduración (d^{-1}).

¹De 1 a 750 días de edad.

²De 1 a 4500 días de edad.

Bathaei y Leroy (1996, 1998) encontraron efectos significativos ($P < 0.05$) del año de nacimiento, el sexo y el tipo de nacimiento en los parámetros de crecimiento A , b y k estimados mediante el modelo de Brody para una especie de ovino nativo. Estos autores indicaron que el año de nacimiento, la edad de la hembra, el sexo y el tipo de nacimiento tuvieron efectos significativos en el crecimiento predestete hasta los 90 días de edad;

mientras que las principales fuentes de variación en el crecimiento postdestete fueron sexo y año de nacimiento.

En el presente estudio el sexo de los animales influyó ($P < 0.01$) sobre los parámetros A , b y k de la curva de crecimiento del modelo de Brody (Cuadro 7). El sexo afectó el crecimiento en los ciervos, ya que los machos presentaron mayores pesos maduros (parámetro A) y menores tasas de maduración (parámetro k) que las hembras (Robbins y Moen, 1975; Kelly *et al.*, 1987; Suttie *et al.*, 1987; Meikle *et al.*, 1992).

El crecimiento acelerado que presentaron los machos después de los seis meses de edad, puede deberse a que el organismo del animal comienza a secretar cantidades elevadas de testosterona (Suttie *et al.*, 1984). Para Birgersson y Ekvall (1997) la diferencia de crecimiento entre sexos, se debe a que los machos asimilan los nutrientes con mayor eficiencia y acumulan menos grasa que las hembras.

En los ciervos juveniles la tasa de maduración (parámetro k) fue mayor ($P < 0.05$; Cuadro 7) en hembras ($k = 0.0056$) que en machos ($k = 0.0010$), por lo que éstas alcanzaron el peso maduro (parámetro A) a menor edad, condición similar a lo encontrado por Abreu *et al.* (2004) en bovinos.

Los parámetros estudiados estuvieron influenciados ($P < 0.01$) por el año de nacimiento. El efecto de año de nacimiento se atribuye a las fluctuaciones de los componentes del clima, la precipitación, la temperatura y los vientos

Cuadro 7. Medias de cuadrados mínimos $\pm$ errores estándar por sexo, año de nacimiento, época de nacimiento y número de parto para los parámetros de la curva de crecimiento del modelo de Brody¹ en ciervos rojos juveniles² y animales adultos³ en pastoreo.

Efecto	Juveniles			Adultos		
	A	b	k	A	b	k
Sexo						
Hembra	77.1 $\pm$ 20.6 ^b	0.8663 $\pm$ 0.0097 ^b	0.0056 $\pm$ 0.0005 ^a	109.6 $\pm$ 10.5 ^b	0.8819 $\pm$ 0.0163 ^b	0.0021 $\pm$ 0.0004
Macho	219.6 $\pm$ 18.6 ^a	0.9283 $\pm$ 0.0087 ^a	0.0010 $\pm$ 0.0005 ^b	155.7 $\pm$ 12.0 ^a	0.9316 $\pm$ 0.0187 ^a	0.0021 $\pm$ 0.0005
Año de nacimiento						
1997	180.5 $\pm$ 48.6 ^{ab}	0.8961 $\pm$ 0.0219	0.0014 $\pm$ 0.0013 ^{ab}	134.6 $\pm$ 10.7 ^{ab}	0.8488 $\pm$ 0.0154 ^b	0.0021 $\pm$ 0.0004
1998	104.6 $\pm$ 19.1 ^b	0.8893 $\pm$ 0.0089	0.0049 $\pm$ 0.0005 ^a	150.9 $\pm$ 15.5 ^a	0.9207 $\pm$ 0.0252 ^{ab}	0.0016 $\pm$ 0.0006
1999	131.0 $\pm$ 21.3 ^{ab}	0.8918 $\pm$ 0.0099	0.0044 $\pm$ 0.0005 ^a	118.7 $\pm$ 14.4 ^b	0.9208 $\pm$ 0.0230 ^{ab}	0.0021 $\pm$ 0.0006
2000	177.2 $\pm$ 19.6 ^a	0.9120 $\pm$ 0.0092	0.0026 $\pm$ 0.0005 ^b	126.6 $\pm$ 13.9 ^{ab}	0.9208 $\pm$ 0.0230 ^a	0.0026 $\pm$ 0.0005
Epoca de nacimiento						
Lluvias	150.4 $\pm$ 12.6	0.8983 $\pm$ 0.0063	0.0036 $\pm$ 0.0003	142.8 $\pm$ 5.4	0.8785 $\pm$ 0.0066	0.0022 $\pm$ 0.0002
Seca	146.3 $\pm$ 30.5	0.8963 $\pm$ 0.0140	0.0031 $\pm$ 0.0008	122.7 $\pm$ 21.2	0.9350 $\pm$ 0.0333	0.0021 $\pm$ 0.0008
Número de parto						
1	133.8 $\pm$ 22.6	0.9000 $\pm$ 0.0105	0.0037 $\pm$ 0.0006	125.6 $\pm$ 10.0	0.9111 $\pm$ 0.0159	0.0024 $\pm$ 0.0004
2	142.3 $\pm$ 27.6	0.8904 $\pm$ 0.0127	0.0032 $\pm$ 0.0007	122.0 $\pm$ 19.0	0.9163 $\pm$ 0.0321	0.0020 $\pm$ 0.0007
3	152.4 $\pm$ 23.3	0.8910 $\pm$ 0.0109	0.0036 $\pm$ 0.0006	144.8 $\pm$ 11.1	0.9081 $\pm$ 0.0163	0.0020 $\pm$ 0.0004 ¹
4	150.2 $\pm$ 23.6	0.9029 $\pm$ 0.0107	0.0028 $\pm$ 0.0006	132.0 $\pm$ 12.0	0.8960 $\pm$ 0.0177	0.0024 $\pm$ 0.0005
5	163.1 $\pm$ 25.0	0.9021 $\pm$ 0.0114	0.0033 $\pm$ 0.0006	139.0 $\pm$ 10.5	0.9022 $\pm$ 0.0162	0.0018 $\pm$ 0.0004

^aA, peso maduro (kg); b, constante de integración y k tasa de maduración (d^{-1}).

¹W=A(1-be^{-kt}).

²De 1 a 750 días de edad.

³De 1 a 4500 días de edad.

^{a, b}. Letras diferentes en una misma columna y efecto indican diferencia significativa (P<0.05; Tukey).

dominantes de un año a otro, lo cual produce cambios en la disponibilidad y calidad del alimento, entre otros factores, que influyen sobre la hembra durante el periodo de gestación, especialmente en el último tercio de la misma, y está correlacionado con el crecimiento postnatal (Morris *et al.*, 1986). Suttie *et al.* (1987) reportaron que los patrones de crecimiento y consumo de alimento en los ciervos están controlados por las horas luz y la época del año, pero se ha observado que su influencia es menor en las hembras que en los machos.

CONCLUSIONES

En las condiciones del presente estudio, el modelo de Brody fue la mejor alternativa para describir las curvas de crecimiento de Ciervo Rojo en pastoreo, por lo que se recomienda su utilización. Para ciervos adultos este modelo ajustó bien las curvas de crecimiento; sin embargo, para hembras juveniles subestimó y para machos juveniles sobrestimó el valor de peso maduro.

El sexo y el año de nacimiento afectaron los parámetros A , b y k de la curva de crecimiento de ciervos juveniles, y de A y b en ciervos adultos, por lo que se deben considerar al momento del manejo en esta especie.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del CONACyT por la beca otorgada a Alejandra Sánchez Cervantes para realizar sus estudios de Maestría en Ciencias en Producción Animal en la Universidad Autónoma Chapingo.

LITERATURA CITADA

- Abreu, U. G. de, A. Cobuci J., G. B. da Silva M. V. y R. B. Sereno J. 2004. Uso de modelos no lineales para el ajuste de la curva de crecimiento de bovinos pantaneiros. *Archivos de Zootecnia* 53: 367-370.
- Bathaei, S. S., and P. L. Leroy. 1996. Growth and mature weight of Mehraban Iranian fat-tailed sheep. *Small Ruminant Research* 22: 155-162.
- Bathaei, S. S., and P. L. Leroy. 1998. Genetic and phenotypic aspects of the growth curve characteristics in Mehraban Iranian fat-tailed sheep. *Small Ruminant Research* 29: 261-269.
- Berlanga, M. E., A. Molina, A. J. Luque, J. V. Delgado y F. Salado. 1995. Estimación de la curva de crecimiento en vacuno retinto desde el nacimiento hasta el destete. *Archivos de Zootecnia* 44: 179-192.
- Birgersson, B., and K. Ekvall. 1997. Early growth in male and female fallow deer fawns. *Behavioral Ecology* 8: 493-499.
- Brody, S. 1945. *Bioenergetics and Growth*. Reinhold Publishing Corp. New York, USA. 1023 p.
- Brown, J. E., H. A. Fitzhugh Jr., and T. C. Cartwright. 1976. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *Journal of Animal Science* 42: 810-818.
- Brown, R. F., D. G. Mayer and G. M. McKeon. 1984. Choosing a curve to describe cumulative germination. *Austr. Seeds Research Conf. Queensland, Australia*. 254-257.
- DeNise, R. S. K., and J. S. Brinks. 1985. Genetic and environmental aspects of the growth curve parameters in beef cows. *Journal of Animal Science* 61: 1431-1440.
- Di Marco, O. N. 1994. *Crecimiento y Respuesta Animal*. Asociación Argentina de Producción Animal. 141 pp.
- Dixon, E. H. 1985. *Advances in Deer Farming*. Wellington (New Zealand): Millwood Press LTD. 240 p.
- Durbin, J., and G. S. Watson. 1951. Testing for serial correlation in least squares regression. *Biometrika* 30: 159-178.
- Fennessy, P. F. 1982. *Growth and Nutrition*. In: *The Farming of Deer*. Agricultural Promotion Associates, New Zealand. 105 p.
- Fitzhugh, H. A. Jr. 1976. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *Journal of Animal Science* 42: 1036-1051.
- García, E. 1988. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 211 p.

- Haigh, J. C., and Hudson R. J. 1993. Farming Wapiti and Red Deer. USA: Mosby-Year Book. 369 p.
- Kelly, R. W., P. F. Fennessy, G. H. Moore, K. R. Drew, and A. R. Bray. 1987. Management, nutrition, and reproductive performance of farmed deer in New Zealand. *In*: C. M. Wemmer (ed.) *Biology and Management of the Cervidae*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC. 450 p.
- López, A., J. France, W. J. J. Gerrits, M. S. Dhanoa, D. J. Humphries, and J. Dijkstra. 2000. A generalized Michaelis-Menten equation for the analysis of growth. *Journal of Animal Science* 78: 1816-1828.
- López de Torre, G., J. J. Candotti, A. Reverter, M. M. Bellido, P. Vasco, L. J. García, and J. S. Brinks. 1992. Effects of growth curve parameters on cow efficiency. *Journal of Animal Science* 70: 2668-2672.
- Meikle, L. M., P. F. Fennessy, M. W. Fisher, and H. J. Patene. 1992. Advancing calving in red deer: the effects on growth and sexual development. *Proceedings of the New Zealand Society Animal Production* 52: 187-190.
- Morris, C. A., G. L. Bennett, R. L. Baker, and A. H. Carter. 1986. Birth weight, dystocia, and calf mortality in some New Zealand beef breeding herds. *Journal of Animal Science* 62: 327-343.
- Myles, H., and D. A. Wolfe. 1973. *Non-parametric Statistical Methods*. Ed. John Wiley & Sons. New York, NY. 151-152.
- Pearl, R., and L. J. Reed. 1923. On the mathematical theory of population growth. *Metron* 3: 6-19.
- Perotto, D., R. I. Cue, and A. J. Lee. 1992. Comparison of nonlinear functions for describing the growth curve of three genotypes of dairy cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 72: 773-782.
- Pollard, J. C., and P.R. Wilson. 2002. Welfare of farmed deer in New Zealand 1. Management Practices. *New Zealand Veterinary Journal* 50: 214-222.
- Robbins, C. T., and A. N. Moen. 1975. Milk consumption and weight gain of white-tailed deer. *Journal of Wildlife Management* 39: 355-360.
- SAS®. 2001. *SAS/STAT User's Guide*. (Release 8.20). Cary, NC, USA. SAS Inst. Inc.
- Seber, G. A. F., and C. J. Wild. 1989. *Nonlinear Regression*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.
- Suttie J. M., G. A. Lincoln, and R. N. B. Kay. 1984. Endocrine control of antler growth in red deer stags. *Journal of Reproduction and Fertility* 71: 7-15.

- Suttie, J. M., P. F. Fennessy, B. A. Veenvliet, R. P. Littlejohn, M. W. Fisher, I. D. Corson, and R. E. Labes. 1987. Energy nutrition of young red deer (*Cervus elaphus*) hinds and a comparison with young stags. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production 47: 111-113.
- Taylor, C. S. 1965. A relation between mature weight and time taken to mature in mammals. Animal Production 7: 203-220.
- Von Bertalanffy, L. 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. Quarterly Reviews of Biology 32: 217-231.
- Winsor, C. P. 1932. The Gompertz curve as a growth curve. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 18: 1-8.

APÉNDICES

APÉNDICE 1

PROGRAMAS EN SAS UTILIZADOS PARA AJUSTAR LOS MODELOS NO LINEALES A LAS CURVAS DE CRECIMIENTO DE CIERVO ROJO.

```
/**Programa para ajustar la ecuación de Brody:  $Wt = A(1-bexp(-kt))$ */  
Options LS=80 ps=37 nocenter nodate;  
Proc sort data=WORK.pesos;  
    by Animal Categoria NoCervato Sexo AnioNacmto;  
    where Categoria = 'Cervato';  
    *where Categoria = 'Pie de Cria';  
run;quit;  
Proc plot data=work.pesos;  
    Plot Wt*t;  
    by Animal Categoria NoCervato Sexo AnioNacmto;  
    where Categoria = 'Cervato';  
    *where Categoria = 'Pie de Cria';  
Where Analisis='SI';  
*Where Sexo='Hembra';  
*Where Sexo='Macho';  
run;quit;  
  
/*****ECUACIÓN DE BRODY*****/  
Options ls=256 ps=10000 nocenter nodate;  
Data work.pesos;set work.pesos;  
    Length Equation$ 16;  
    Equation='.';  
    if Equation = '.' then Equation='Brody';  
run;quit;  
Options ls=256 ps=10000 nocenter nodate;  
Proc sort data=work.pesos;  
    by Animal Categoria Sexo;  
run;quit;  
/**Programa para ajustar la ecuación de Brody:  $Wt = A(1-bexp(-kt))$ */  
Title 'Ajuste de la ecuación de Brody usando el metodo de MARQUARDT';  
Proc nlin data=work.pesos best=5 step=60 method=MARQUARDT  
SMETHOD=ARMGOLD  
    maxiter=100;  
    Where Analisis='SI';  
    by Animal Categoria Sexo;  
    Params A=50 to 150 by 10 B= 0.10 to 1.62 by 0.4 k=  
0.0011007 to 0.0077638 by 0.001;  
    bounds A<= 290;  
    model Wt=A*(1-B*(exp(-k*t)));  
    if _model_ then return;  
    con1=b*(exp(-k*t));  
    con2=exp(-k*t);  
    der.A = 1-con1;  
    der.b = -A*con2;  
    der.k = A*t*b*con2;
```

```

        output out=Brody p=lwpred r=PVresid ESS=ErrorSS parms=A B k;
run; quit;
Title 'Brody parametros y MSRES';
Options LS=256 PS=10000 nocenter nodate;
Proc means data=Brody noprint maxdec=10;
id Categoria Equation NoCervato Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto;
    var ErrorSS A b k;
    output out=BrodyOut mean=ErrorSS A b k;
    by Animal Categoria Sexo;
run; quit;
Data Brody1;
    set BrodyOut;
    MSResid=(ErrorSS)/(_Freq_ -3);
run; quit;
Proc means data=Brody1 noprint maxdec=12;
id Categoria Equation NoCervato Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto;
    var MSResid A b k;
    output out=Brody2 mean=MSResid A b k;
    by Animal Categoria Sexo;
run; quit;
Options linesize=256 pagesize=100 nocenter nodate;
Proc print data=Brody2;
id Categoria Equation NoCervato Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto;
    var MSResid A b k;
    format _numeric_ 15.14;
run; quit;
Title 'Programa para obtener el estadístico de Durbin-Watson';
Options linesize=256 pagesize=10000 nocenter nodate;
Proc reg data=Brody;
    model PVresid= / noint dw;
    by Animal Categoria Sexo;
run; quit;

/***** ECUACIÓN DE GOMPERTZ *****/
Options ls=256 ps=10000 nocenter nodate;
Data work.pesos; set work.pesos;
    Length Equation$ 16;
    Equation='.';
    if Equation = '.' then Equation='Gompertz';
run; quit;
options ls=256 ps=10000 nocenter nodate;
Proc sort data=work.pesos;
    by Animal Categoria Sexo;
run; quit;
/** Programa para ajustar la ecuación de Gompertz:  $W_t = A * (\exp(-B * (\exp(-k * t))))$  */
Title 'Ajuste de la ecuación de Gompertz usando el método de
MARQUARDT';
Proc nlin data=work.pesos best=5 STEP=60 method=MARQUARDT
smethod=ARMGOLD maxiter=200;
    Where Analisis='SI';
    by Animal Categoria Sexo;
    Parns A=50 to 150 by 10 B= 0.25 to 3.5 by 0.5 k= 0.001
to 0.1 by 0.01;
    bounds A<= 290;
    model Wt=A*(exp(-B*(exp(-k*t))));
    if _model_ then return;
    con1=exp(-B*(exp(-k*t)));

```

```

        con2=exp(-k*t);
        der.A =con1;
        der.b =-Wt*con2;
        der.k = Wt*b*t*con2;
        output out=Gompertz p=lwpred r=Pvresid ESS=ErrorSS parms=A B
k;
run;quit;
Title 'Gompertz parametros y MSRES';
Options LS=256 PS=10000 nocenter nodate;
Proc means data=Gompertz noprint maxdec=10;
id Categoria Equation NoCervato Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto;
    var ErrorSS A b k;
    output out=GompertzOut mean=ErrorSS A b k;
    by Animal Categoria Sexo;

run;quit;
Data Gompertz1;
    set GompertzOut;
    MSResid=(ErrorSS)/(_Freq_ -3);

run;quit;
Proc means data=Gompertz1 noprint maxdec=10;
id Categoria Equation NoCervato Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto;
    var MSResid A b k;
    output out=Gompertz2 mean= MSResid A b k;
    by Animal Categoria Sexo;

run;quit;
Options linesize=256 pagesize=600 nocenter nodate;
Proc print data=Gompertz2;
id Categoria Equation NoCervato Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto;
    var MSResid A b k;
    format _numeric_ 15.14;

run;quit;
Title 'Programa para obtener el estadístico de Durbin-Watson';
Options linesize=256 pagesize=10000 nocenter nodate;
Proc reg data=Gompertz;
    model Pvresid= / noint dw;
    by Animal Categoria Sexo;

run;quit;

/***** ECUACIÓN LOGÍSTICA *****/
Options ls=256 ps=10000 nocenter nodate;
Data work.pesos;set work.pesos;
    Length Equation$ 16;
    Equation='.';
    if Equation = '.' then Equation='Logistic';

run;quit;
options ls=256 ps=10000 nocenter nodate;
Proc sort data=work.pesos;
    by Animal Categoria Sexo;

run;quit;
/*Programa para ajustar la ecuación Logística:  $Wt = A/(1+b*(exp(-kt)))$ */
Title 'Ajuste de la ecuación de Logistic usando el metodo de
MARQUARDT';
Proc nlin data=work.pesos best=5 STEP=60 method=MARQUARDT
smethod=ARMGOLD maxiter=200;
    Where Analisis='SI';
    by Animal Categoria Sexo;

```



```

        Parms A=50 to 150 by 10 B= 0.25 to 3.5 by 0.5 k= 0.001
to 0.1 by 0.01;
        bounds A<= 290;
        model Wt=A/(1+B*(exp(-k*t)));
        if _model_ then return;
        con1=(1+B*(exp(-k*t)));
        con2=exp(-k*t);
        der.A =1/con1;
        der.b =-Wt*(con2/con1);
        der.k = Wt*((b*t*con2)/con1);
        output out=Logistic p=lwpred r=PVresid ESS=ErrorSS parms=A B
k;
Title 'Logistic parametros y RMS';
Options LS=256 PS=10000 nocenter nodate;
Proc means data=Logistic noprint maxdec=10;
id Categoria Equation NoCervato Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto;
        var ErrorSS A b k;
        output out=LogisticOut mean=ErrorSS A b k;
        by Animal Categoria Sexo;
run;quit;
Data Logistic1;
        set LogisticOut;
        MSResid=(ErrorSS)/(_Freq_ -3);
run;quit;
Proc means data=Logistic1 noprint maxdec=10;
id Categoria Equation NoCervato Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto;
        var MSResid A b k;
        output out=Logistic2 mean= MSResid A b k;
        by Animal Categoria Sexo;
run;quit;
Options linesize=250 pagesize=100 nocenter nodate;
Proc print data=Logistic2;
id Categoria Equation NoCervato Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto;
        var MSResid A b k;
        format _numeric_ 15.14;
run;quit;
Title 'Programa para obtener el estadistico de Durbin-Watson';
Options linesize=256 pagesize=10000 nocenter nodate;
Proc reg data=Logistic;
        model PVresid= / noint dw;
        by Animal Categoria Sexo;
run;quit;

/***** ECUACIÓN DE VON BERTALANFFY *****/
Options ls=256 ps=10000 nocenter nodate;
Data work.pesos;set work.pesos;
        Length Equation$ 16;
        Equation='.';
        if Equation = '.' then Equation='Von Bertalanffy';
run;quit;
options ls=256 ps=10000 nocenter nodate;
Proc sort data=work.pesos;
        by Animal Categoria Sexo;
run;quit;
/*Programa para ajustar la ecuación de Von Bertalanffy: Wt = A*(1-
b*exp(-kt))*/
Title 'Ajuste de la ecuación de Von Bertalanffy usando el metodo de
MARQUARDT';

```

```

Proc nlin data=work.pesos best=5 STEP=60 method=MARQUARDT
smethod=ARMGOLD maxiter=100;
    Where Analisis='SI';
    by Animal Categoria Sexo;
    Params A=50 to 150 by 10 B= 0.25 to 3.5 by 0.5 k= 0.001
to 0.1 by 0.01;
    bounds A<= 290;
    model Wt=A*(1 - B*exp(-k*t))**3;
    if _model_ then return;
    con1 = (1-B*(exp(-k*t))**3;
    con2 = (1-B*(exp(-k*t))**2;
    con3 = 3*A*(exp(-k*t));
    der.A = con1;
    der.B = -con3*con2;
    der.k = con3*B*t*con2;
    output out=VBertal p=lwpred r=Pvresid ESS=ErrorSS parms=A B
k;
run;quit;
Title 'Von Beratalanfy parametros MSRES';
Options LS=256 PS=10000 nocenter nodate;
Proc means data=VBertal noprint maxdec=10;
id Categoria Equation NoCervato Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto;
var ErrorSS A b k;
output out=VBertalOut mean=ErrorSS A b k;
by Animal Categoria Sexo;

run;quit;
Data VBertal1;
set VBertalOut;
MSResid=(ErrorSS)/(_Freq_ -3);

run;quit;
Proc means data=VBertal1 noprint maxdec=10;
id Categoria Equation NoCervato Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto;
var MSResid A b k;
output out=VBertal2 mean= MSResid A b k;
by Animal Categoria Sexo;

run;quit;
Options linesize=256 pagesize=200 nocenter nodate;
Proc print data=VBertal2;
id Categoria Equation NoCervato Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto;
var MSResid A b k;
format _numeric_ 15.14;

run;quit;
Title 'Programa para obtener el estadistico de Durbin-Watson';
Options linesize=256 pagesize=10000 nocenter nodate;
Proc reg data=VBertal;
model PVresid= / noint dw;
by Animal Categoria Sexo;

run;quit;

```

APÉNDICE 2

PROGRAMAS EN SAS UTILIZADOS PARA REALIZAR LA PRUEBA DE FRIEDMAN.

```
/**PRUEBA DE FRIEDMAN SOBRE LOS RANGOS DE LOS MS de LOS
RESIDUALES**/

*** S E X O ***
Title'Programa para obtener los lugares jerárquicos por Sexo';
Options linesize=256 pagesize=10000 nocenter nodate;

/* Obtaining ranks within cervatos and sexo*/
proc sort data=work.parametros;
    by Animal  Categoria  Sexo;
run;quit;
proc rank data=work.parametros ties=mean out=filranks;
    by Animal  Categoria  Sexo;
    *where Sexo= 'Hembra';
    where Sexo= 'Macho';
    var MSResid;
    ranks rnkmsres;
run;quit;
/* To print whole file plus the ranks */
Proc sort data=filranks;
    by Animal  Categoria  Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto MSResid
    A b k Convergio DW Nobs Autocorr TipoAutocorrel
rnkmsres;
run;quit;
Title 'Ranks and ranks al cuadrado of the variable MSRES within each
cervatos and sexo';
data new; set filranks;
    rnkmsresQ=rnkmsres*rnkmsres;
run;quit;
proc print data=new;
    var Animal  Categoria  Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto Equation MSResid
    A b k Convergio DW Nobs Autocorr TipoAutocorrel
rnkmsres rnkmsresQ ;
run;quit;

Title'Programa para obtener A2';
Proc means data=new sum maxdec=10 noprint;
    id Sexo;
    Var rnkmsresQ;
    Output out=New1 sum=A2;
Proc Print Data=New1;
run;quit;

Title'Programa para obtener B2';
Proc means data=filranks sum maxdec=10 noprint;
    id Sexo Equation;
    Class Equation;
    Var rnkmsres;
```

```

        Output out=Ultimo sum=Sumrnkmsres;
Proc Print Data=Ultimo;
run;quit;
Data B2Previous; set Ultimo;
    where _TYPE_ NE 0;
    SumrnkmsresQ=Sumrnkmsres*Sumrnkmsres;
Proc sort data=B2Previous;
    by Sumrnkmsres;
Proc print data=B2Previous;
run;quit;
Proc means data=B2Previous sum maxdec=10 noprint;
    id Sexo;
    Var SumrnkmsresQ;
    Output out=B2Final sum=B2Unadjusted;
Proc print data=B2Final;

```

```

*No. de parámetros para incluir en formula: Machos 540 y Hembras
900*;
Data Final; set B2Final;
    B2=B2Unadjusted/540;
Proc print data=Final;
run;quit;

```

*** C A T E G O R I A ***

```

Title'Programa para obtener los lugares jerárquicos por Sexo';
Options linesize=256 pagesize=10000 nocenter nodate;

```

```

/* Obtaining ranks within cervatos and sexo*/
proc sort data=work.parametros;
    by Animal Categoria Sexo;

```

```

run;quit;
proc rank data=work.parametros ties=mean out=filranks;
    by Animal Categoria Sexo;
    *where Categoria= 'Pie de Cria';
    where Categoria= 'Cervato';
    var MSResid;
    ranks rnkmsres;

```

```

run;quit;
/* To print whole file plus the ranks */
Proc sort data=filranks;

```

```

    by Animal Categoria Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto MSResid
    A b k Convergio DW Nobs Autocorr TipoAutocorrel

```

```

rnkmsres;

```

```

run;quit;

```

```

Title 'Ranks and ranks al cuadrado of the variable MSRES within each
cervatos and sexo';
data new; set filranks;
    rnkmsresQ=rnkmsres*rnkmsres;

```

```

run;quit;

```

```

proc print data=new;
    var Animal Categoria Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto Equation MSResid
    A b k Convergio DW Nobs Autocorr TipoAutocorrel
rnkmsres rnkmsresQ ;
run;quit;

```

```

Title'Programa para obtener A2';
Proc means data=new sum maxdec=10 noprint;
    id Sexo;

```

```

        Var rnksresQ;
        Output out=New1 sum=A2;
Proc Print Data=New1;
run;quit;

Title'Programa para obtener B2';
Proc means data=filranks sum maxdec=10 noprint;
    id Sexo Equation;
    Class Equation;
    Var rnksres;
    Output out=Ultimo sum=Sumrnksres;
Proc Print Data=Ultimo;
run;quit;
Data B2Previous; set Ultimo;
    where _TYPE_ NE 0;
    SumrnksresQ=Sumrnksres*Sumrnksres;
Proc sort data=B2Previous;
    by Sumrnksres;
Proc print data=B2Previous;
run;quit;
Proc means data=B2Previous sum maxdec=10 noprint;
    id Sexo;
    Var SumrnksresQ;
    Output out=B2Final sum=B2Unadjusted;
Proc print data=B2Final;

```

```

*No. de parámetros para incluir en formula: Cervatos 696 y Pie de
Cria 744*;
Data Final; set B2Final;
    B2=B2Unadjusted/696;
Proc print data=Final;
run;quit;

```

```

*** C E R V A T O S      H E M B R A ***
Title'Programa para obtener los lugares jerárquicos por Sexo';
Options linesize=256 pagesize=10000 nocenter nodate;

/* Obtaining ranks within cervatos and sexo*/
proc sort data=work.parametros;
    by Animal  Categoria  Sexo;
run;quit;
proc rank data=work.parametros ties=mean out=filranks;
    by Animal  Categoria  Sexo;
    where Sexo= 'Hembra'and Categoria= 'Cervato';
    var MSResid;
    ranks rnksres;
run;quit;
/* To print whole file plus the ranks */
Proc sort data=filranks;
    by Animal  Categoria  Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto MSResid
    A b k Convergio DW Nobs Autocorr TipoAutocorrel

rnksres;
run;quit;
Title 'Ranks and ranks al cuadrado of the variable MSRES within each
cervatos and sexo';
data new; set filranks;
    rnksresQ=rnksres*rnksres;
run;quit;

```

```

proc print data=new;
    var Animal      Categoria  Sexo FechaNacimto delCervato
    MesNacmto AnioNacmto Equation MSResid
    A b k Convergio DW Nobs Autocorr TipoAutocorrel
rnkmsres rnkmsresQ ;
run;quit;

Title'Programa para obtener A2';
Proc means data=new sum maxdec=10 noprint;
    id Sexo;
    Var rnkmsresQ;
    Output out=New1 sum=A2;
Proc Print Data=New1;
run;quit;

Title'Programa para obtener B2';
Proc means data=filranks sum maxdec=10 noprint;
    id Sexo Equation;
    Class Equation;
    Var rnkmsres;
    Output out=Ultimo sum=Sumrnkmsres;
Proc Print Data=Ultimo;
run;quit;
Data B2Previous; set Ultimo;
    where _TYPE_ NE 0;
    SumrnkmsresQ=Sumrnkmsres*Sumrnkmsres;
Proc sort data=B2Previous;
    by Sumrnkmsres;
Proc print data=B2Previous;
run;quit;
Proc means data=B2Previous sum maxdec=10 noprint;
    id Sexo;
    Var SumrnkmsresQ;
    Output out=B2Final sum=B2Unadjusted;
Proc print data=B2Final;

Data Final; set B2Final;
    B2=B2Unadjusted/216;
Proc print data=Final;
run;quit;

*** C E R V A T O S      M A C H O ***
Title'Programa para obtener los lugares jerárquicos por Sexo';
Options linesize=256 pagesize=10000 nocenter nodate;

/* Obtaining ranks within cervatos and sexo*/
proc sort data=work.parametros;
    by Animal  Categoria  Sexo;

run;quit;
proc rank data=work.parametros ties=mean out=filranks;
    by Animal  Categoria  Sexo;
    where Sexo= 'Macho'and Categoria= 'Cervato';
    var MSResid;
    ranks rnkmsres;

run;quit;
/* To print whole file plus the ranks */
Proc sort data=filranks;
    by Animal  Categoria  Sexo FechaNacimto delCervato
    MesNacmto AnioNacmto MSResid

```

```

A b k Convergio DW Nobs Autocorr TipoAutocorrel

rnkmsres;
run;quit;
Title 'Ranks and ranks al cuadrado of the variable MSRES within each
cervatos and sexo';
data new; set filranks;
      rnkmsresQ=rnkmsres*rnkmsres;
run;quit;
proc print data=new;
      var Animal      Categoria      Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto Equation MSResid
      A b k Convergio DW Nobs Autocorr TipoAutocorrel
rnkmsres rnkmsresQ ;
run;quit;

Title'Programa para obtener A2';
Proc means data=new sum maxdec=10 noprint;
      id Sexo;
      Var rnkmsresQ;
      Output out=New1 sum=A2;
Proc Print Data=New1;
run;quit;

Title'Programa para obtener B2';
Proc means data=filranks sum maxdec=10 noprint;
      id Sexo Equation;
      Class Equation;
      Var rnkmsres;
      Output out=Ultimo sum=Sumrnkmsres;
Proc Print Data=Ultimo;
run;quit;
Data B2Previous; set Ultimo;
      where _TYPE_ NE 0;
      SumrnkmsresQ=Sumrnkmsres*Sumrnkmsres;
Proc sort data=B2Previous;
      by Sumrnkmsres;
Proc print data=B2Previous;
run;quit;
Proc means data=B2Previous sum maxdec=10 noprint;
      id Sexo;
      Var SumrnkmsresQ;
      Output out=B2Final sum=B2Unadjusted;
Proc print data=B2Final;

Data Final; set B2Final;
      B2=B2Unadjusted/480;
Proc print data=Final;
run;quit;

*** P I E   D E   C R I A   H E M B R A ***
Title'Programa para obtener los lugares jerárquicos por Sexo';
Options linesize=256 pagesize=10000 nocenter nodate;

/* Obtaining ranks within cervatos and sexo*/
proc sort data=work.parametros;
      by Animal      Categoria      Sexo;
run;quit;
proc rank data=work.parametros ties=mean out=filranks;
      by Animal      Categoria      Sexo;
      where Sexo= 'Hembra'and Categoria= 'Pie de Cria';

```

```

        var MSResid;
        ranks rnksmsres;
run;quit;
/* To print whole file plus the ranks */
Proc sort data=filranks;
        by Animal   Categoria   Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto MSResid
        A b k Convergio DW Nobs Autocorr TipoAutocorrel
rnksmsres;
run;quit;
Title 'Ranks and ranks al cuadrado of the variable MSRES within each
cervatos and sexo';
data new; set filranks;
        rnksmsresQ=rnksmsres*rnksmsres;
run;quit;
proc print data=new;
        var Animal   Categoria   Sexo FechaNacimto delCervato
MesNacmto AnioNacmto Equation MSResid
        A b k Convergio DW Nobs Autocorr TipoAutocorrel
rnksmsres rnksmsresQ ;
run;quit;

Title'Programa para obtener A2';
Proc means data=new sum maxdec=10 noprint;
        id Sexo;
        Var rnksmsresQ;
        Output out=New1 sum=A2;
Proc Print Data=New1;
run;quit;

Title'Programa para obtener B2';
Proc means data=filranks sum maxdec=10 noprint;
        id Sexo Equation;
        Class Equation;
        Var rnksmsres;
        Output out=Ultimo sum=Sumrnksmsres;
Proc Print Data=Ultimo;
run;quit;
Data B2Previous; set Ultimo;
        where _TYPE_ NE 0;
        SumrnksmsresQ=Sumrnksmsres*Sumrnksmsres;
Proc sort data=B2Previous;
        by Sumrnksmsres;
Proc print data=B2Previous;
run;quit;
Proc means data=B2Previous sum maxdec=10 noprint;
        id Sexo;
        Var SumrnksmsresQ;
        Output out=B2Final sum=B2Unadjusted;
        Proc print data=B2Final;

Data Final; set B2Final;
        B2=B2Unadjusted/684;
        Proc print data=Final;
run;quit;

*** P I E   D E   C R I A   M A C H O ***
Title'Programa para obtener los lugares jerárquicos por Sexo';
Options linesize=256 pagesize=10000 nocenter nodate;

```



```

/* Obtaining ranks within cervatos and sexo*/
proc sort data=work.parametros;
    by Animal Categoria Sexo;
run;quit;
proc rank data=work.parametros ties=mean out=filranks;
    by Animal Categoria Sexo;
    where Sexo= 'Macho'and Categoria= 'Pie de Cria';
    var MSResid;
    ranks rnkmsres;
run;quit;
/* To print whole file plus the ranks */
Proc sort data=filranks;
    by Animal Categoria Sexo FechaNacimto delCervato
    MesNacmto AnioNacmto MSResid A b k Convergio DW Nobs Autocorr
    TipoAutocorrel rnkmsres;
run;quit;
Title 'Ranks and ranks al cuadrado of the variable MSRES within each
cervatos and sexo';
data new; set filranks;
    rnkmsresQ=rnkmsres*rnkmsres;
run;quit;
proc print data=new;
    var Animal Categoria Sexo FechaNacimto delCervato
    MesNacmto AnioNacmto Equation MSResid A b k Convergio DW Nobs
    Autocorr TipoAutocorrel rnkmsres rnkmsresQ ;
run;quit;

Title 'Programa para obtener A2';
Proc means data=new sum maxdec=10 noprint;
    id Sexo;
    Var rnkmsresQ;
    Output out=New1 sum=A2;
Proc Print Data=New1;
run;quit;

Title 'Programa para obtener B2';
Proc means data=filranks sum maxdec=10 noprint;
    id Sexo Equation;
    Class Equation;
    Var rnkmsres;
    Output out=Ultimo sum=Sumrnkmsres;
Proc Print Data=Ultimo;
run;quit;
Data B2Previous; set Ultimo;
    where _TYPE_ NE 0;
    SumrnkmsresQ=Sumrnkmsres*Sumrnkmsres;
Proc sort data=B2Previous;
    by Sumrnkmsres;
Proc print data=B2Previous;
run;quit;
Proc means data=B2Previous sum maxdec=10 noprint;
    id Sexo;
    Var SumrnkmsresQ;
    Output out=B2Final sum=B2Unadjusted;
Proc print data=B2Final;

Data Final; set B2Final;
    B2=B2Unadjusted/60;
Proc print data=Final;
run;quit;

```

```

Options ls=115 ps=500 nocenter nodate;
Proc means data=work.Parametros n maxdec=0;
    Class MesNacmto;
    Var A;
    Where equation='Brody' and Categoria='Pie de Cria';
run;quit;
Proc means data=work.Parametros n maxdec=0;
    Class AnioNacmto;
    Var A;
    Where equation='Brody' and Categoria='Pie de Cria';
run;quit;
Title 'Programa para ver cuantas observaciones por numero de parto';
Options ls=115 ps=500 nocenter nodate;
Proc means data=work.Parametros n maxdec=0;
    Class NoParto;
    Var A;
    Where equation='Brody' and Categoria='Pie de Cria';
run;quit;
Title 'Programa para ver cuantos hijos por padre';
Options ls=115 ps=500 nocenter nodate;
Proc means data=work.Parametros n maxdec=0;
    Class PadreNo;
    Var A;
    Where equation='Brody' and Categoria='Pie de Cria';
run;quit;
Title 'Programa para ver cuantas observaciones por epoca de
nacimiento';
Options ls=115 ps=500 nocenter nodate;
Proc means data=work.Parametros n maxdec=0;
    Class EpocaNacmto;
    Var A;
    Where equation='Brody' and Categoria='Pie de Cria';
run;quit;

/*ESTOS PROGRAMAS SON PARA ANALIZAR LOS PARAMETROS A, b y k DE LA
CURVA DE CRECIMIENTO
DE BRODY PARA PIE DE CRIA*/

Title 'Programa para colapsar años de nacimiento';
Data nuevo; set work.Parametros;
    If equation = 'Gompertz' or equation = 'Logistic' or
equation = 'Von Bertalanffy'
    or equation = 'Weibull' or equation = 'Richards' then
delete;
    If AnioNacmto LE 1997 then AnioNacmto = 1997;
    If AnioNacmto GE 2000 then AnioNacmto = 2000;
Run;quit;
Title 'MIXED para Parametro A de curva de Brody para Pie de Cria';
Options ls=180 ps= 1000 nocenter nodate;
Proc MIXED data=nuevo Method=REML;
    Class PadreNo Sexo AnioNacmto EpocaNacmto NoPartoCol;
    Model A = Sexo AnioNacmto EpocaNacmto NoPartoCol/DDFM=KR;
    Lsmeans Sexo AnioNacmto EpocaNacmto NoPartoCol/pdiff
adjust=Tukey;
    Random PadreNo;
    Where Categoria='Pie de Cria';
Run;quit;
Title 'MIXED para Parametro b de curva de Brody para Pie de Cria';
Options ls=180 ps= 1000 nocenter nodate;
Proc MIXED data=nuevo Method=REML;
    Class PadreNo Sexo AnioNacmto EpocaNacmto NoPartoCol;

```

```

Model b = Sexo AnioNacmto EpocaNacmto NoPartoCol/DDFM=KR;
Lsmeans Sexo AnioNacmto EpocaNacmto NoPartoCol/pdiff
adjust=Tukey;
Random PadreNo;
Where Categoria='Pie de Cria';

Run;quit;
Title 'MIXED para Parametro k de curva de Brody para Pie de Cria';
Options ls=180 ps= 1000 nocenter nodate;
Proc MIXED data=nuevo Method=REML;
Class PadreNo Sexo AnioNacmto EpocaNacmto NoPartoCol;
Model k = Sexo AnioNacmto EpocaNacmto NoPartoCol/DDFM=KR;
Lsmeans Sexo AnioNacmto EpocaNacmto NoPartoCol/pdiff
adjust=Tukey;
Random PadreNo;
Where Categoria='Pie de Cria';

Run;quit;

```