

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

CURVAS DE CRECIMIENTO EN TERNEROS DE DIFERENTE GENOTIPO
DESDE EL NACIMIENTO HASTA LOS DOS AÑOS DE EDAD

por

Martín BISTOLFI LAGAXIO

Nicolás DIRENNA PÉREZ

Santiago FERNÁNDEZ BARTABURU

Pablo Joaquín MOLTINI PALADINO

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO
URUGUAY
2014

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. PhD Ana C. Espasandín

Dra. Mónica Rodríguez

Dr. Juan Franco

Fecha: 24 de abril de 2014

Autores:

Martín Bistolfi Lagaxio

Nicolás Direnna Pérez

Santiago Fernández Bartaburu

Pablo Joaquín Moltini Paladino

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias, quienes nos apoyaron durante toda la carrera.

A la orientadora de este trabajo, Ing. Agr. Ana Carolina Espasandín por la dedicación brindada.

A los funcionarios de la Estación Experimental Bernardo Rosengurt (EEBR), ya que gracias a su colaboración fue posible realizar este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1 IMPORTANCIA DE LA GANADERÍA EN EL URUGUAY.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 <u>General</u>	3
1.2.2 <u>Específicos</u>	3
1.3 HIPÓTESIS.....	3
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	4
2.1 FACTORES QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO.....	8
2.2 CRECIMIENTO COMPENSATORIO.....	11
2.3 MODELOS DE CRECIMIENTO.....	14
2.3.1 <u>Lineales</u>	15
2.3.2 <u>No lineales</u>	15
2.3.2.1 Modelo de Gompertz.....	16
2.3.2.2 Modelo de Brody.....	17
2.3.2.3 Modelo de Von Bertalanffy.....	17
2.3.2.4 Modelo Logístico.....	17
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	18
3.1 LOCALIZACIÓN.....	18
3.2 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO.....	18
3.3 ANÁLISIS DE VARIANZA.....	20
3.4 CURVAS DE CRECIMIENTO.....	20
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	22
4.1 MODELOS LINEALES.....	24
4.2 MODELOS NO LINEALES.....	26
4.3 MODELO ELEGIDO.....	30
4.4 IMPLICANCIAS PRÁCTICAS.....	34
5. <u>CONCLUSIONES</u>	36
6. <u>RESUMEN</u>	37

7. <u>SUMMARY</u>	38
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	39

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Factores que afectan el crecimiento en la etapa posnatal.....	8
2. Número de individuos en cada genotipo paterno estudiado.....	19
3. Número de individuos en cada genotipo materno estudiado	19
4. Número de individuos en cada genotipo de ternero estudiado.....	19
5. Efectos fijos y niveles incluidos en los modelos de análisis.....	20
6. ANAVA de crecimiento de terneros de diferentes genotipos carniceros desde el nacimiento hasta dos años de edad.....	22
7. Coeficientes de determinación (r^2) y parámetros obtenidos para describir el crecimiento de terneros usando modelos lineales y no lineales.....	23
8. Comparación de parámetros del modelo de Brody encontrados por distintos autores.....	30
9. Parámetros (A, B y K) obtenidos en la curva de Brody para los genotipos AA, HH, F1, RA y RH.....	31
10. Coeficiente de determinación (r^2) del modelo de Brody ajustado a los diferentes genotipos.....	32
Figura No.	
1. Modelo lineal aplicado a la evolución del crecimiento de terneros de diversos genotipos para producción de carne	24
2. Modelo cuadrático aplicado a la evolución del crecimiento de terneros de diversos genotipos para producción de carne.....	25
3. Modelo cúbico aplicado a la evolución del crecimiento de terneros de diversos genotipos para producción de carne.....	26
4. Modelo de Gompertz aplicado a la evolución del crecimiento de terneros de diversos genotipos para producción de carne.....	27
5. Modelo de Brody aplicado a la evolución del crecimiento de terneros de diversos genotipos para producción de carne.....	28
6. Modelo de Von Bertalanffy aplicado a la evolución del crecimiento de terneros de diversos genotipos para producción de carne.....	29
7. Modelo Logístico aplicado a la evolución del crecimiento de terneros de diversos genotipos para la producción de carne.....	29
8. Modelo de Brody ajustado para los genotipos AA, HH, F1, RA y RH...	33

1. INTRODUCCIÓN

1.1 IMPORTANCIA DE LA GANADERÍA EN EL URUGUAY

El Uruguay es considerado un país ganadero, debido principalmente al área que ocupa esta actividad y a la importancia económica y social que abarca. Para describir esta actividad es necesario presentar algunas características que denotan la importancia antes mencionada.

El país cuenta con aproximadamente 17.600.000 has de las cuales la ganadería ocupa 15.000.000, dentro de estas el 50% es utilizado por la cría vacuna exclusivamente y otro 25% se orienta al ciclo completo, por lo tanto aproximadamente 11.500.000 has (65% del total del país) son destinadas a la producción de terneros (Instituto del Plan Agropecuario, 2011).

Del total del área destinada a la ganadería aproximadamente el 90% es de pasturas naturales (campo natural) y el resto se reparte entre praderas, campo natural mejorado y verdeos (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2012).

En cuanto al stock vacuno (11.100.000 cabezas totales, al 30 de junio 2012 según anuario estadístico INAC, 2012), el 36% está compuesto por vacas de cría entoradas y el 24% por terneros y terneras, lo que denota la importancia de la cría como primer eslabón en la cadena de producción cárnica. A su vez se refleja la baja eficiencia de esta actividad al encontrarse un elevado número de vacas que no producen terneros, evidenciado a través de la tasa de procreo.

Existen muy buenas estadísticas en cuanto a la faena y comercialización de carne publicadas por URUGUAY. MGAP. DIEA (2012), de las mismas se puede destacar que la faena total de vacunos en el año 2012 fue de 2.115.649 de cabezas, de las cuales 1.092.420 (51,6%) corresponde a novillos y 788.446 (37,3%) a vacas y el resto se reparte entre vaquillonas, terneros y toros.

Cabe destacar que la tendencia en las últimas décadas ha sido de disminuir la edad de faena pasando de un 80 % de novillos faenados de más de 3,5 años en la década del 90, a faenar menos de un 40 % de estos en la actualidad, pasando a faenarse esta principal categoría mayoritariamente entre los dos y cuatro dientes.

Independientemente de las causas o motivaciones para que esto ocurra, detrás de este cambio en la oferta del tipo de animal, debió existir un gran cambio en los sistemas de producción, en donde la cría cumple un rol trascendente a través de la

adopción de nuevas tecnologías basadas principalmente en la mejora en la alimentación y en la adopción de nuevas herramientas genéticas, como en la que se basa dicho trabajo.

El crecimiento es un proceso fisiológico de gran trascendencia práctica, ya que todo tipo de producción animal depende de él y su eficiencia es determinante del proceso productivo. Este proceso está regido por factores como el genotipo, la alimentación y el clima los cuales deben ser manejados adecuadamente para obtener un mayor beneficio en cuanto a rentabilidad económica y productiva (Bavera et al., 2005)

Al ser manejados estos factores adecuadamente se logra aumentar la velocidad de crecimiento que no solo logra terminar los animales a una edad de faena menor sino también una aptitud reproductiva más precoz, aumentando la vida útil de la vaca de cría, el número de terneros destetados por vaca, disminuyendo el intervalo generacional a través de la introducción más temprana de la vaquillona al rodeo de cría, lo que permite aumentar la intensidad de selección, dando como resultado un mayor progreso genético año a año y un incremento de la eficiencia productiva global.

Sin quitarle importancia, se debe mencionar a la recría y terminación en nuestro país, procesos que completan la cadena cárnica. Los animales de recría y fundamentalmente las hembras no son consideradas como prioritarias dentro de los establecimientos ya que se trata de un negocio a largo plazo, pasando al menos un año y medio en el campo luego de ser destetadas para comenzar su etapa reproductiva a los dos años. En cuanto a los machos, la recría abarca desde el destete hasta el ingreso a la invernada, ambos procesos de mayor importancia debido a que son negocios de corto plazo, por lo que los parámetros relacionados al crecimiento juegan un rol preponderante en ambas etapas.

En el Uruguay, el crecimiento estacional de las pasturas y cultivos forrajeros produce fluctuaciones muy marcadas en la cantidad y calidad de los nutrientes disponibles para el animal en pastoreo. Estas fluctuaciones en el suministro de nutrientes ocasionan variaciones en el crecimiento del animal y a menos que se suministre algún alimento suplementario el crecimiento puede ser severamente afectado.

Un retardo o paralización del crecimiento durante el período invernal puede ser sumamente importante en la producción vacuna de todos aquellos países, donde se busca que los animales lleguen rápidamente al peso de faena con un alto rendimiento.

Es evidente que la alimentación en pastoreo representa la forma más económica de alimentar a un rumiante; por lo tanto, cuando se pretende establecer sistemas para lograr una eficiente conversión de pasto en carne, el problema al cual nos enfrentamos es el de lograr una armonía entre los requerimientos del animal y la producción de la pastura.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 General

- Modelar las curvas de crecimiento desde el nacimiento hasta los dos años de edad de terneros de diferentes genotipos, tanto puros como cruzas en pastoreo.

1.2.2 Específicos

- Comparar curvas de crecimiento y sus parámetros asociados, de terneros en pastoreo, de diferentes genotipos.

- Estimar los efectos ambientales involucrados en el crecimiento de estos.

1.3 HIPÓTESIS

- El efecto del genotipo tiene trascendencia sobre los parámetros de crecimiento.
- Las curvas de crecimiento de los diferentes genotipos estudiados presentan diferencias entre sí.
- Los genotipos cruza presentan superioridad en cuanto a velocidad de crecimiento frente a los puros, desde el nacimiento hasta la faena, diferencia observada en las curvas de crecimiento modeladas.
- Existen diferencias entre razas puras Angus y Hereford.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se entiende por crecimiento al aumento de peso experimentado por los animales desde el nacimiento hasta su estabilización en la edad adulta, y por desarrollo a las modificaciones que experimentan las proporciones, conformación, composición química corporal y funciones fisiológicas del animal a medida que avanza la edad (Hammond, 1960)

El crecimiento corporal es un proceso altamente complejo que requiere de dos premisas fundamentales: carga genética (ADN) y alimentación, en donde la primera aporta la información de la especie y del individuo, heredada de los padres mientras la segunda aporta los nutrientes requeridos para el óptimo desarrollo. Crecer es por lo tanto un proceso multifactorial y complejo que comprende fenómenos de aumento de tamaño (hipertrofia) y cantidad (hiperplasia) de los tejidos (Álvarez et al., 2009).

El aumento de masa corporal de un animal ocurre en una secuencia temporal: prenatal, posnatal hasta el destete, destete hasta la pubertad y pubertad hasta la madurez, donde cada fase presenta diferente velocidad o tasa de crecimiento. El análisis de esas tasas es de interés para investigadores y productores porque indica cuales son las necesidades nutricionales y ambientales de los animales en cada fase, permite evaluar la eficiencia del crecimiento animal y provee información para elaborar programas de mejoramiento genético (Posada et al., 2011).

Como se dijo anteriormente, Di Marco (2004) afirma que la vida del vacuno para carne se divide tradicionalmente en tres períodos de crecimiento: el de lactancia, recría y engorde. Dichos períodos se diferencian por el cambio de peso, por el tipo y proporción de tejidos que se desarrollan y por modificaciones del metabolismo.

Según Wilkinson y Tayler (1972) el crecimiento en la fase postnatal puede ser representado por una curva sigmoidea: primero se produce un crecimiento lento seguido de un alto índice de desarrollo, apoyado por el efecto de las hormonas sexuales, para seguidamente el índice de crecimiento ser muy reducido hasta alcanzar el grado de madurez somática o detención del crecimiento. Resultados similares fueron obtenidos por Lawrence y Fowler (1997), quienes dividieron el crecimiento animal en tres fases, crecimiento lento inicial, una fase de aceleración pronunciada y un período de desaceleración hasta alcanzar el peso adulto.

Al igual que el crecimiento fenotípico externo del cuerpo animal, las curvas de crecimiento de los diferentes tejidos y órganos son también sigmoideas pero lo hacen en diferentes tiempos.

Hammond (1960) estableció que los diferentes órganos, tejidos y piezas anatómicas del animal no tienen la misma velocidad de crecimiento en un momento dado. Cada uno va adquiriendo una velocidad de crecimiento característica según la edad, en un orden definido. El orden en que los distintos tejidos alcanzan su máxima velocidad de crecimiento es: nervioso, óseo, muscular y graso.

Inmediatamente después del nacimiento, el desarrollo del esqueleto está adelantado respecto al de los músculos. Por su parte, los músculos crecen en relación con el peso del cuerpo. Durante este crecimiento siempre existe alguna acumulación de grasa, que va siendo cada vez mayor según se aproxima la madurez. Son los tejidos y partes del cuerpo más indispensables para la vida los que se desarrollan primero. Los órganos también presentan diferentes velocidades de crecimiento. El cerebro, ojos, riñones, corazón, son órganos de maduración temprana. El crecimiento diferencial de los órganos es principalmente funcional. Los órganos de mayor importancia fisiológica para el animal están mejor desarrollados al nacimiento que aquellos que tienen menor importancia hasta un tiempo después del nacimiento. De estas observaciones surge la afirmación que el ternero al nacer tiene mayor desarrollo en los tejidos duros que los blandos y que el crecimiento se cumple partiendo desde la cabeza y las extremidades hacia la región de las caderas. Es decir, que el desarrollo se realiza siguiendo disposiciones preestablecidas, ordenamientos que han sido denominados ondas de crecimiento y bajo cuyo imperio se desenvuelve el de todos los mamíferos (Hammond, 1960).

La primera onda, llamada axial o primaria, arranca del cerebro y sigue dos direcciones: hacia adelante, encargándose del aumento del tamaño de la cara y hacia atrás, produciendo el desarrollo en largo del animal. Así, continuando su avance, crecerá la cabeza, cuello, tórax, lomo y cadera. Esta onda, que tiene prioridad de desarrollo sobre las demás, explica el crecimiento paulatino desde la cabeza hacia atrás.

La segunda onda, que recibe el nombre de apendicular, se inicia en la parte media de las cañas y consta de dos ramas: una se dirige hacia la extremidad de cada miembro y es la encargada de dar el tamaño definitivo al pie, mientras que la otra se orienta hacia arriba a lo largo de las diversas regiones de los miembros, originando el crecimiento en alto. Esto aclara el hecho que el pie y la caña son las partes de las extremidades que primero alcanzan su tamaño definitivo de adulto. Como efecto de la acción de cada onda, resulta la alzada, una dimensión que a edad prematura adquiere la magnitud final. Al remontarse estas ondas por los miembros, llegan al cuerpo y se orientan hacia la región del lomo, que es una de las partes del animal más tardías en adquirir el tamaño definitivo.

La tercera onda no comienza a desenvolverse sino cuando empieza a decrecer el efecto de las dos anteriores y es la encargada del desarrollo longitudinal de las costillas, por cuya causa se la denomina descendente. A sus efectos se atribuye el crecimiento en

ancho de los diferentes huesos largos, puesto que éste es muy tardío (Lawrence y Fowler, 1997).

Toda insuficiencia alimentaria provoca un retardo en la evolución de las ondas, cuyo desarrollo se realiza siguiendo un orden de prioridades. Son las regiones de desarrollo más tardío las que resultarán más afectadas en cualquier crisis o deficiencia en la alimentación. Por lo tanto, las porciones posteriores del animal son las que mayores deterioros experimentarán cuando la comida resulte incapaz de cubrir los requerimientos. Y esas regiones corresponden a los cortes de mayor valor en la industria de la carne (Bavera et al., 2005).

El crecimiento somático está regulado de forma endocrina mediante el eje hipotalámico-hipofisiario a través de la hormona del crecimiento o somatotropina (GH) en interacción con distintas hormonas y otros factores de carácter genéticos, nutricionales, metabólicos y medio ambientales. La mayoría de estas interacciones no están bien definidas, pero sin duda la hormona adenohipofisiaria del crecimiento (GH) es esencial para el desarrollo normal en cualquier especie animal (Álvarez et al., 2009).

Lawrence y Fowler (1997), indicaron que la hormona de crecimiento cumple funciones tanto catabólicas, como anabólicas en el cuerpo del animal; posiblemente las distintas partes de la molécula cumplen los diferentes roles en el metabolismo. Como agente anabólico cumple un rol vital controlando la partición de nutrientes en el proceso de crecimiento y lactación. Contrariamente puede ser lipolítica y diabetogénica y por lo tanto claramente catabólica en su función.

En sus roles anabólicos y catabólicos, la hormona de crecimiento tiene un efecto muy importante en muchos aspectos del metabolismo; a través de su efecto en el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas. Sin embargo la función más importante es su influencia en la formación de proteínas y ácidos nucleicos.

Esta hormona presenta dos formas de acción: directa e indirecta. En su acción directa, la hormona actúa sobre sus receptores de membrana específicos en todas las células susceptibles de crecer mientras que en su acción indirecta, la más importante, lo hace mediante los IGF (Factores de Crecimiento Insulínicos). La elevación de los niveles de GH puede producir aumento en el índice de crecimiento muscular del cuerpo mediante la interacción de diversos factores metabólicos. La GH bien sea directa o indirectamente, estimula los procesos anabólicos, la división (mitosis) y el crecimiento celular, la osteogénesis (huesos) y condrogénesis (cartílagos) que deciden el crecimiento del esqueleto y estimula la síntesis de proteínas (actividad promotora del crecimiento, Álvarez et al., 2009).

Los receptores de la GH situados en hígado son regulados por la insulina, y es también la interacción entre ambas que es fundamental en el rol catabólico de la GH. Si el animal está subalimentado, la concentración de GH en el plasma aumenta y es usada

para lipólisis, para permitir un aumento del uso de lípidos como fuente de energía. Sin embargo tal reducción de tejido adiposo por la lisis de triglicéridos no es la única forma en que la cantidad de lípidos en el tejido adiposo se reduce, porque si la energía es deficitaria en la dieta, entonces la lipogénesis también se ve reducida debido a los bajos niveles de insulina; a causas de esta situación, la energía va a ser destinada a cubrir necesidades básicas de supervivencia en lugar de ser depositadas en el tejido. Los bajos niveles de insulina hacen decrecer los receptores de GH en el hígado reduciendo el crecimiento. Por lo tanto los efectos de la GH en el tejido adiposo pueden ser indirectos (Lawrence y Fowler, 1997).

Otra de las hormonas relacionadas a la regulación del crecimiento es la insulina pudiendo funcionar como estimulante del crecimiento ya que por un lado coopera en el suministro energético a las células y por otro lado podría aumentar el crecimiento fetal estimulando la producción de los IGF. Para algunos investigadores, la insulina, al igual que las anteriores hormonas, solo ejercería una acción facilitadora estimulando la captación y utilización de los sustratos necesarios para el crecimiento al tiempo que garantiza su correcto empleo a nivel celular siendo especialmente importante en la estimulación del transporte de aminoácidos y glucosa al interior de las células apoyando el efecto anabólico (Álvarez et al., 2009).

En cuanto a las hormonas sexuales, el mismo autor establece que estas desempeñan un importante papel en la regulación del crecimiento puberal y también en el control de la secreción de GH. A los efectos estimulantes, las hormonas masculinas (andrógenos) elaboradas en los testículos, poseen un papel más potente que las hormonas femeninas (estrógenos) elaboradas en los ovarios. La testosterona es un potente agente anabólico que acelera el crecimiento lineal, el aumento de peso y el incremento de la masa muscular lo que determina que los machos tengan un mayor desarrollo corporal en masa y peso que las hembras.

Los estrógenos por su parte poseen un efecto estimulador sobre el crecimiento y la producción de IGF en el hígado en dosis bajas, mientras que a altas dosis inhiben directamente ambos procesos, de ahí que la pubertad femenina precoz determina un animal de menor talla. No obstante, ambos tipos de hormonas sexuales desarrollan una función importante de apoyo a la GH ya que estimulan la condrogénesis, la miogénesis, la síntesis proteica y la multiplicación celular con el conocido efecto de “estiramiento puberal”.

Los glucocorticoides son potentes hormonas inhibitoras del crecimiento lineal por diversas causas. Un componente importante resultante de la actividad de estas hormonas es la inhibición de la secreción de GH bajo condiciones estresantes, es decir, situaciones de estrés sostenido influyen negativamente o detienen el crecimiento. Estas hormonas influyen negativamente sobre el crecimiento corporal a través de su intervención estimulante en el catabolismo proteico, su efecto bloqueador de la utilización de la glucosa por las células, su acción inhibitora en la formación del

colágeno y la incorporación de prolina a nivel de los cartílagos así como la disminución de la secreción de la hormona de crecimiento por el eje hipotalámico-hipofisiario (Lawrence y Fowler, 1997).

2.1 FACTORES QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO

Hay muchos factores que afectan el crecimiento y desarrollo del animal. La edad, peso, raza, sexo, su historia nutricional y una serie de otros factores influyen, en cualquier situación de aumento de peso, sobre la proporción de músculo, grasa y huesos. En el siguiente cuadro se detallan los principales factores que afectan el crecimiento y desarrollo en la etapa pre y posdestete.

Cuadro 1. Factores que afectan el crecimiento en la etapa posnatal.

Predestete	Posdestete
Genotipo	Genotipo
Sexo	Sexo
Peso al nacer	Peso al destete
Aptitud materna	Equilibrio hormonal
Edad y desarrollo de la madre	Alimentación disponible
Estado nutritivo de la madre	Manejo
Producción de leche materna	Clima
Alimentación al pie de la madre	Adaptabilidad
Edad y desarrollo al destete	Sanidad
Estado sanitario madre y cría	

Fuente: Bavera et al. (2005).

Exhaustivos programas de caracterización de razas revelan grandes diferencias para la mayoría de las características bioeconómicas. Además, la fluctuación en la composición de razas entre generaciones en sistemas de cruzamiento rotacional puede resultar en variaciones considerables en vacas y terneros en niveles de mejor performance en características bioeconómicas, a no ser que las razas utilizadas en la rotación sean similares en características de rendimiento (Gregory et al. 1982, Cundiff et al. 1986).

La heterosis alcanzada a través de cruzamientos continuos puede ser usada para incrementar el peso de ternero destetado por vaca en alrededor de 20%. El uso de razas de similares características restringe el uso que puede hacerse de las diferencias entre

razas en la superioridad en mérito genético para cumplir con los requisitos para la producción y situaciones de mercadeo (Gregory y Cundiff, 1980).

Las grandes diferencias entre razas para los rasgos de tamaño y crecimiento se deben al efecto aditivo directo combinado con el efecto genético materno, que le provee una oportunidad de usar las diferencias genéticas entre razas para alcanzar y mantener una óptima composición genética aditiva para rasgos de interés que hagan coincidir los recursos genéticos con un amplio rango de situaciones productivas y de mercado.

En cuanto al sexo según Bavera et al. (2005) los machos crecen más rápido que las hembras debido precisamente a la mayor potencia de los andrógenos con respecto a los estrógenos sobre la estimulación del crecimiento. Los machos consumen más alimento que las hembras precisamente por una mayor tasa metabólica, pesan al nacer entre el 5 % - 7 % más que las hembras, el largo de la gestación es de 3-4 días más en el macho, son más eficientes en la conversión de alimento que las hembras.

Al nacimiento el macho tiene un 4 % - 5 % de su peso de adulto, en tanto que la hembra aunque es más liviana tiene entre un 7 % -10 % del peso adulto lo que indica que la hembra nace más madura que el macho, lo cual explica también la menor tasa de crecimiento.

En cuanto al efecto de la castración en machos, hay que recordar que los andrógenos tienen un efecto miotrófico, es decir favorecen el desarrollo de determinadas áreas corporales y especialmente ciertas masas musculares. A una misma edad, el novillo tiene una mayor altura que un toro de la misma raza, porque se ha eliminado el efecto antagónico de los andrógenos con respecto a la hormona de crecimiento. Los machos enteros son más eficientes para ganar peso que los castrados, dado que las relaciones músculo/hueso y músculo/grasa son siempre favorables a los machos enteros.

El comportamiento materno y los rendimientos lácteos influyen sobre el crecimiento pre destete y la tasa de sobrevivencia del ternero.

La raza de la vaca interfiere tanto en el rendimiento como la calidad en la leche, en requerimientos de mantenimiento, y diferencias en la eficiencia de producción los cuales influyen en el crecimiento predestete de los terneros (Brown y Lalman, 2010).

El efecto de la producción de leche sobre el ternero contrariamente a la vaca, presenta una relación favorable y está directamente relacionado a su desempeño en la fase de cría (Vela et al., 1998).

Es muy clara la evidencia de una estrecha relación entre la cantidad de leche que consume el ternero y su aumento de peso, especialmente durante los tres primeros meses de edad. Alrededor del 50% de la variación en los pesos al destete puede ser atribuida a diferencias en el consumo de leche por parte de los terneros (Rovira, 1996).

Casal et al. (2009) trabajando con vacas Aberdeen Angus, Hereford y sus cruza realizaron un análisis de medidas repetidas donde determinaron diferencias significativas en la producción de leche a lo largo de la lactancia de las razas, siendo superior para Angus, seguida de la F1 y por último la raza Hereford ($p < 0.01$). El pico de producción fue alcanzado a los 20, 60 y 70 días en HH, F1 y AA, con producciones de 5.0, 5.2 y 5.8 kg/día respectivamente.

El factor que más afecta el rendimiento o crecimiento en cualquier especie animal es la satisfacción de sus necesidades metabólico-fisiológicas según el tipo de dieta que consume. La alimentación, en calidad y cantidad, es un factor estimulador o inhibidor del crecimiento. En el ganado Brahman (Cebú), se han constatado rendimientos del 52% en dietas de alto contenido de forraje al compararse con rendimientos superiores (56%) en régimen dietético de sólo concentrado lo que demuestra el valor de la dieta y su influencia sobre el crecimiento animal, no obstante el problema es dilucidar cuál es más económico y sustentable. El ganado autóctono, de respetarse su acción conductual e incrementar directamente su dieta energética es más productivo con un menor costo económico de crianza.

A los efectos de la alimentación es importante respetar el alimento ofertado para el cual la especie tiene adaptado su sistema digestivo por lo que las raciones tienen que considerar este aspecto en primer lugar (Álvarez et al., 2009).

En cuanto a los nutrientes, una severa restricción nutricional, sobretodo de proteína, reduce el tamaño maduro del ganado (Berg y Butterfield, 1976).

Long (1980) establece que el potencial genético del ganado determina la composición de sus carcasas a cualquier peso, independientemente de si alcanzaron ese peso en un corto o largo período de tiempo. En contraste, varios investigadores (Lake et al. 1974, Lewis et al. 1990) han reportado que restringirle el consumo de energía durante la fase final de la pre-pubertad o fase post-pubertad temprana reduce marcadamente el contenido de grasa de novillos terminados a un peso específico.

Como lo indica Greathouse (1985), cuando los animales de maduración temprana (ganado de pequeño tamaño y vaquillonas) fueron alimentados con dietas de alta energía desde terneros, muestran mayor engrasamiento y menor peso de faena a un espesor de grasa específico. Similarmente, Nour y Thonney (1987) indican que a cualquier peso de carcasa, las razas de menor peso adulto tienen más lípidos en los tejidos blandos.

Otros factores que afectan el crecimiento son el clima y la adaptabilidad, una de las principales variables dentro de estos factores es la temperatura, siendo esta óptima para el crecimiento en un rango de 17°C a 32°C.

La temperatura medioambiental repercute significativamente sobre la actividad metabólica y fisiológica del cuerpo animal. Las altas temperaturas ambientales determinan una respuesta termorreguladora en los animales que decide una reducción en la producción y un incremento en la pérdida de calor, de manera que se disminuye el metabolismo como consecuencia del descenso en la secreción de las hormonas tiroideas, lo que reduce el consumo voluntario de alimentos al tiempo que aumenta el gasto de energía para la disipación del calor (sudor o jadeo) con disminución de las reservas corporales de grasa, nitrógeno y agua lo que influye negativamente sobre el crecimiento.

Es un hecho cierto que los animales adaptados a clima templado presentan un mayor desarrollo corporal que los de clima caliente como adaptación del área superficial del cuerpo para la retención del calor, siendo estos animales pequeños con extremidades largas y opuestamente los de clima más frío, grandes con extremidades cortas.

En cuanto a la sanidad, los antiparasitarios en general tienen un efecto promotor del crecimiento al ejercer su acción sobre los parásitos intestinales que expolían los nutrientes del hospedero por lo que retrasan el crecimiento del mismo al tiempo que algunos, como el Vermisol (tetramisol), se consideran por su acción, estimulantes del apetito y la conversión por su efecto anabólico. El empleo de coccidiostáticos evita las lesiones de la mucosa intestinal al tiempo que mejora el proceso digestivo y reduce el efecto expoliante parasitario por lo que se convierte en un promotor positivo del crecimiento en animales jóvenes en general (Álvarez et al., 2009)

2.2 CRECIMIENTO COMPENSATORIO

Si en un momento determinado a un animal se le restringe su ritmo de crecimiento por una nutrición inadecuada, cuando vuelve a recibir una alimentación adecuada su consiguiente tasa de crecimiento será mayor que la de un animal al que no se le ha restringido el alimento, reflejándose en el peso y no en la edad al final del período de restricción. Este fenómeno se conoce con el nombre de crecimiento compensatorio (Wilkinson y Tayler, 1972).

Algunos autores sostienen que un aumento del apetito sería el principal mecanismo por el cual se logra la recuperación, pero otros están en desacuerdo con esto y sostienen que el factor fundamental es una reducción del metabolismo basal lo que hace que los animales tengan un menor gasto de mantenimiento (Verde, 1974).

Waters (1908) trabajando con vacunos para carne estudió el efecto de subnutrición que obligó a los animales a mantener peso por un año y observó que, a pesar de que el crecimiento en peso vivo estaba paralizado, el crecimiento del esqueleto continuaba. Cuando los animales restringidos pasaron a un buen nivel nutricional hubo

un crecimiento acelerado, el que fue mantenido aun cuando los animales normalmente alimentados habían cesado de crecer.

Según Verde (1974), la capacidad que poseen los animales para recuperarse luego de un retardo en el crecimiento ha sido demostrada ampliamente. Los procesos de recuperación tendrían tres componentes fundamentales: 1) una prolongación del período de crecimiento; 2) un incremento en el ritmo de ganancia de peso y 3) un aumento del apetito.

Aparentemente habría cinco factores que podrían afectar y controlar la recuperación de peso de un animal luego de una restricción alimenticia. Esos factores serían: a) naturaleza de la restricción; b) severidad y duración de la restricción; c) estado de desarrollo al comienzo de la penuria; d) naturaleza de la realimentación y e) raza o velocidad relativa para alcanzar la madurez:

a) naturaleza de la restricción: las penurias nutricionales pueden tener un origen extrínseco, o sea por factores tales como falta de alimento y bajo valor nutritivo, que hacen que el suministro de nutrientes a las células y tejidos sea inferior a lo normal; o intrínsecos, tales como problemas metabólicos, que también llevan a una pobre utilización de los nutrimentos (Jackson, 1925). En una revisión sobre las posibles deficiencias nutricionales de los mamíferos en condiciones de pastoreo, realizada por Huffman y Duncan (1944), se concluye que la deficiencia de energía es de importancia fundamental y que las deficiencias de proteína, minerales y vitaminas están en un plano secundario. Cuando se trabaja con animales vacunos de más de 6-7 meses de edad es improbable una situación nutricional que no permita un consumo razonable de proteína. También Blaxter (1956) puntualiza que las penurias energéticas son causas más importantes de baja productividad que las deficiencias de proteína, vitaminas o minerales.

b) severidad y duración de la restricción: períodos de restricción excesivamente prolongados pueden afectar a algunos animales en forma permanente, produciéndose, en consecuencia, alteraciones irreversibles en la composición y en la forma del cuerpo del animal adulto. La naturaleza de los períodos de restricción en los animales jóvenes se puede clasificar en tres categorías: 1) restricciones severas que resultan en pérdidas considerables de peso; 2) restricciones medias, que hacen que el animal mantenga constante su peso y 3) restricciones moderadas, que permiten pequeñas ganancias de peso, pero que son todavía subnormales. Cuando se compararon animales restringidos el mismo tiempo, aquellos más severamente restringidos fueron los que presentaron mayores ganancias en la realimentación. La velocidad de crecimiento en el período de realimentación parece estar directamente relacionada con la severidad de la restricción tendiendo a ser dentro de límites

razonables, independiente de la duración. Sin embargo, si el tiempo que dura la restricción es demasiado largo, se observan efectos permanentes, con inhibición del poder de recuperación, los individuos necesitan un tiempo muy largo para llegar al peso adulto normal o, en casos extremos, llegan al estado de adulto con pesos inferiores a lo normal.

c) estado de desarrollo al comienzo de la restricción: el estado de desarrollo en el momento en que se produce una restricción alimenticia es de fundamental importancia en la determinación de la recuperación durante la realimentación. La imposición de una penuria nutricional en el punto de inflexión de la curva sigmoidea de crecimiento va a resultar en la máxima inhibición del crecimiento. Esto es válido tanto para tejidos y órganos en forma individual como para el individuo como un todo. Muchos órganos y tejidos, especialmente aquellos conectados con el sistema nervioso central llegan al punto de inflexión de sus respectivas curvas de crecimiento en estados de desarrollo muy tempranos. Es evidente que estas estructuras van a ser, comparativamente, menos afectadas por períodos de penuria alimenticia en la vida postnatal. Aquellos tejidos de maduración más tardía, como aquellos que están conectados al sistema muscular, aparecerían como más afectados por períodos de subnutrición.

d) naturaleza de la realimentación: es un hecho muy evidente que las ganancias de peso al comienzo de la realimentación son mayores que las ganancias que se realizan hacia el final del período. Se han atribuido en parte estas ganancias de peso a llenado del tubo digestivo producido por el cambio en el tipo así como en el nivel de alimento. El crecimiento compensatorio es mayor cuando el período de recuperación se realiza con un alimento que presupone un cambio importante en el nivel energético que recibe el animal. Según Lawrence y Pearce (1964), la calidad del alimento es importante en la ganancia de peso compensatoria, siendo pasturas excesivamente tiernas con gran contenido de humedad o pasturas excesivamente maduras como las de verano causantes de una declinación de la ganancia.

e) raza o velocidad relativa para alcanzar la madurez: la velocidad con que un animal llega a la madurez luego de un período de restricción es de gran importancia práctica para el productor y si éste necesita un rápido giro del capital debería utilizar animales de rápido crecimiento evitando todo período de penuria. Sin embargo, como puntualizan Wilson y Osbourn (1960), cuando las condiciones ambientales por sí mismas imponen una restricción que se hace prácticamente imposible de evitar para el productor, un animal de maduración rápida puede no ser deseable. El crecimiento compensatorio se manifiesta en forma similar en todos los animales domésticos. Pero al existir dentro de cada especie razas cuya velocidad de maduración puede diferir notoriamente, lo que

hace que a una misma edad cronológica haya distintas edades fisiológicas, es evidente que la respuesta a una situación de penuria estará correlacionada con el estado fisiológico del animal.

2.3 MODELOS DE CRECIMIENTO

La descripción matemática del comportamiento del crecimiento de los animales es la curva de crecimiento, que refleja las interrelaciones entre el potencial de crecimiento y los factores ambientales. Todas las ecuaciones de crecimiento muestran la relación entre el peso y la edad.

Según Brown et al. (1976) para representar la curva de crecimiento se han propuesto diferentes ecuaciones matemáticas, tanto de tipo lineal como no lineales; pudiéndose señalar, para cada una de ellas, ventajas e inconvenientes sobre la base de su fiabilidad o sensibilidad, número y tipo de registros necesarios, dificultad computacional, etc.

Un modelo apropiado de crecimiento debe suministrar información sobre parámetros que pueden ser interpretados biológicamente, además, si se hace un buen uso del modelo se pueden obtener características que son de importancia en el crecimiento animal. Las funciones no lineales han sido usadas para describir el crecimiento en peces, aves y mamíferos. A pesar que la mayoría de las funciones de crecimiento usadas, explican las curvas de crecimiento, no logran realizar una explicación clara sobre las tasas medias de crecimiento en la curva, pues en muchos casos el comportamiento del crecimiento varía de acuerdo a la etapa fisiológica en que se encuentre el animal viéndose afectada entre otros aspectos la ganancia diaria de peso. Por esta razón se hace necesario obtener funciones que se ajusten a todos los datos observados.

Las curvas de crecimiento permiten evaluar parámetros biológicamente importantes: como es el tamaño del animal, evaluado como el peso al alcanzar la madurez sexual; otro es la relación entre la tasa de crecimiento con respecto a la tasa de maduración sexual. Estos parámetros sólo pueden ser evaluados una vez se haya completado el crecimiento. La estimación temprana de los factores puede servir para proponer programas de selección y mejoramiento pues son asociadas a otras características de importancia económica (Gómez et al., 2008).

Generalmente, las funciones no lineales de crecimiento presentan tres parámetros interpretables biológicamente y otro que se identifica como una constante matemática. El parámetro A, definido como peso asintótico o peso adulto, representa la estimativa de peso a la madurez, independiente de fluctuaciones de peso debidas a efectos genéticos y ambientales, cuando el tiempo tiende a infinito. El parámetro K, que se conoce como índice de madurez, estimativa de precocidad de madurez o tasa de madurez posnatal, determina la eficiencia del crecimiento de un animal. Es la razón

entre la tasa de crecimiento máxima y el peso adulto del animal. Cuanto mayor sea el valor de este parámetro más precoz es el animal, en tanto que valores más bajos indican madurez tardía, por tanto representa un indicador de la velocidad con que el animal se aproxima al peso adulto. El inverso de K (K^{-1}) corresponde al tiempo necesario para alcanzar la madurez. El parámetro M es denominado parámetro de inflexión y se refiere al punto en que el animal pasa de una fase de crecimiento acelerado a una fase de crecimiento inhibitorio, o lo que es lo mismo, el punto a partir del cual el animal pasa a crecer con menor eficiencia. En la mayoría de las funciones este parámetro asume valores fijos, haciendo que las funciones presenten formas definidas. El parámetro B es denominado parámetro de integración y no posee significado biológico (Posada et al., 2011).

Dentro de los modelos lineales se pueden encontrar curvas de crecimiento lineales, cuadráticas o polinomiales; por otra parte dentro de los modelos no lineales, las curvas más utilizadas son las de Gompertz, Brody, Von Bertalanffy y modelo Logístico.

2.3.1 Lineales

- Lineal ($y = a + bx$)
- Cuadrática ($y = a + bx + cx^2$)
- Polinomiales ($y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots + zx^n$)

Los componentes de los modelos lineales utilizados son:

y = Peso vivo del animal.

a = Peso a la edad 0.

b, c, \dots, z = Coeficientes de regresión.

x = Edad del animal.

2.3.2 No lineales

- Gompertz $y = Ae^{-Be^{(-kt)}}$
- Brody $y = A(1 - Be^{-kt})$
- Von Bertalanffy $y = A(1 - Be^{-kt})^3$
- Logístico $y = A(1 + e^{-kt})^{-M}$

Los componentes de los modelos no lineales utilizados son:

y = Peso vivo del animal a la edad “ t ”.

t = Edad del animal.

A = Peso adulto o asintótico en Kg.

B = Constante de integración.

k = Pendiente de la curva relativa a la tasa de crecimiento ($\text{Kg} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$).

Los modelos no lineales incorporan tanto los parámetros fijos que son asociados a la población y los parámetros aleatorios, que están relacionados con los datos de las unidades experimentales. Estos modelos se han empleado para describir las relaciones entre las variables respuesta y algunas covariables que son agrupadas de acuerdo con la estructura de los datos. El número de parámetros aleatorios que se puede analizar en cada modelo puede ser solamente uno o tantos como parámetros fijos tenga el modelo, ya que a cada uno de estos se le puede asociar un efecto aleatorio. La incorporación de efectos aleatorios en los modelos permite contemplar la variabilidad de las diferentes curvas entre los individuos de una misma población.

Posada et al. (2011) en su trabajo encontró una correlación negativa entre el peso maduro (A) y la tasa de madurez (K). De acuerdo con Silva et al. (2002), la correlación genética entre los valores de A y K indica un antagonismo entre las estimativas de esos parámetros, por tanto, al seleccionar animales buscando mayor tasa de madurez (más precoces), se obtienen animales de menor peso adulto.

Ribeiro (2005) analizó el crecimiento en ocho especies de interés zootécnico con nueve modelos no lineales. El modelo Logístico y el de Von Bertalanffy tuvieron un ajuste mejor en las especies evaluadas, pero para bovinos el modelo de Gompertz fue el más adecuado para predecir el crecimiento.

2.3.2.1 Modelo de Gompertz

La ecuación de Gompertz considera que la desaceleración final para crear una curva sigmoidea tiene su origen al utilizar proporciones logarítmica. La curva es triparamétrica. La bondad del ajuste la sitúa en la zona intermedia dentro de las curvas biológicas, sobreestimando los pesos juveniles y subestimando los mas tardíos.

2.3.2.2 Modelo de Brody

La curva de Brody define bien el crecimiento, es de fácil ajuste y tiene buena bondad de ajuste cuando se emplea en períodos postdestete (6 meses en bovinos, a partir del 30% del peso adulto, tras el punto de inflexión). Sin embargo, se adapta menos a las fluctuaciones de los pesos y suele subestimar el peso al nacimiento.

Según Domínguez et al. (2012) el modelo de Brody fue el que permitió describir mejor el crecimiento de bovinos Tropicarne, lo que implica tasas de madurez (k) lentas, característica de crecimiento de los bovinos en el trópico.

2.3.2.3 Modelo de Von Bertalanffy

La ecuación de Von Bertalanffy se basa en el concepto de que cada incremento corporal representa el triunfo del anabolismo frente al catabolismo.

La curva de Von Bertalanffy presenta el mejor ajuste global de las curvas biológicas, siendo superada sólo por las polinómicas. Presenta una ligera sobrestimación de los pesos iniciales y una menor subestimación de los pesos finales.

2.3.2.4 Modelo Logístico

La ecuación logística generalizada (Nelder, 1961), de tipo en la que A es el peso asintótico, K el grado de madurez y M el parámetro de forma de la curva, se considera curva biológica ya que sus parámetros pueden interpretarse en clave fisiológica. Para algunos autores es la ecuación que mejor expresa el crecimiento postnatal de los animales, sin embargo otros comprueban que sus cuadrados medios residuales son mayores que en el resto de modelos biológicos. Por otra parte, se considera que sobrestima el parámetro K y subestima el valor A. Al realizar la comparación con la ecuación lineal, vemos que sobrestima los pesos a edades muy tempranas y los subestima cerca del destete.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN

El experimento se realizó en la Estación Experimental Bernardo Rosengurt (EEBR), perteneciente a Facultad de Agronomía UdelaR, ubicada en el departamento de Cerro Largo, ruta 26 (tramo Melo-Tacuarembó) km 408, a 28 km de la ciudad de Melo.

Los suelos de este establecimiento están desarrollados sobre los sedimentos de la Formación Yaguarí. El tapiz dominante del campo natural está constituido por especies calificadas de tiernas a ordinarias, destacándose las gramíneas de ciclo estival (*Andropogon lateralis*, *Paspalum notatum*, *Axonopus affinis*, *Paspalum dilatatum*, *Bothriochloa laguroides*, *Schizachyrium sp.*, *Coelorhachis selleana*) y de ciclo invernal (*Piptochaetium montevidiense*, *Piptochaetium stipoides* y *Stipa setigera*). La producción de estos tapices presenta una marcada estacionalidad primavera-estival, acumulando en este período el 60% de la producción total anual.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

Para la realización de este experimento se trabajó con el banco de datos de todos los terneros nacidos a partir del 2002 del rodeo de cría de la EEBR, los mismos fueron manejados en base a campo natural en todos los períodos estudiados. Se registraron los pesos de un total de 1324 animales durante un período de 11 años (2002-2012), obteniéndose un total de 14542 registros. Las mediciones se realizaron a partir del nacimiento con frecuencias mensuales o bimensuales llegando en ciertos casos hasta la edad de faena.

Los genotipos de terneros estudiados fueron Aberdeen Angus (AA), Hereford (HH), Angus-Hereford (AH), Hereford-Angus (HA), retrocruza Angus (Rt AA) y retrocruza Hereford (Rt HH), también se evaluaron las cruzas de vacas Hereford con Limousin (Li x F1) y Bonsmara (Rt BB).

Al conjunto de datos recabados se los ordenó en una única planilla Excel, individualizando cada unidad experimental (ternero), con sus respectivos datos de genealogía (identificación de padre y madre), genotipo, categoría de la madre, caravana del ternero, fecha de nacimiento, sexo y sus pesajes sucesivos en el tiempo.

El número de padres, madres y terneros de cada genotipo se presentan en los cuadros 2, 3 y 4.

Cuadro 2. Número de individuos en cada genotipo paterno estudiado.

Genotipo Padre	No. individuos
AA	43
HH	43
F1	8
Li	5
BB	2

Cuadro 3. Número de individuos en cada genotipo materno estudiado.

Genotipo Madre	No. individuos
AA	211
HH	236
AH	129
HA	110
Rt AA	31
Rt HH	32
Rt	7
CR	26
F2	14
BH	2

Cuadro 4. Número de individuos en cada genotipo de ternero estudiado.

Genotipo Ternero	No. individuos
AA	7
HH	30
Rt AA	223
Rt BB	3
Rt HH	159
AH	425
HA	501
Li x F1	6
F2	40

3.3 ANÁLISIS DE VARIANZA

El peso vivo de cada ternero desde el nacimiento hasta 2 años de edad fue analizado en un modelo de medidas repetidas en el tiempo incluyendo como efectos fijos el genotipo del ternero, categoría de la madre, sexo del ternero, año y mes de nacimiento dentro de cada año. La edad fue incluida como covariable, y el animal individual como efecto aleatorio.

Dentro de cada efecto, los niveles se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Efectos fijos y niveles incluidos en los modelos de análisis.

Efecto	Niveles	Descripción de Niveles
Año	11	2002 - 2012
Raza del ternero	9	AA; HH; AH; HA; RtAA; RtBB; RtHH; F2; LixF1
Categoría de madre	3	1era Cría; 2da Cría; Adulta
Sexo	2	Macho; Hembra
Fecha de nac.	-	
Pesaje	25	Nacimiento; Mes 1; Mes 2; ...; Mes 24
Año * Raza del ter.	-	

El nivel de significancia estadística asumido fue de $P < 0.05$. Los análisis se realizaron mediante el procedimiento MIXED del Programa SAS (SAS, 2009).

3.4 CURVAS DE CRECIMIENTO

Con los registros previamente corregidos por los efectos fijos significativos, la evolución del peso vivo de los terneros fue modelada según diferentes modelos lineales y no lineales, entre ellos:

Lineales

- Lineal ($y = a + bx$)
- Cuadrática ($y = a + bx + cx^2$),
- Polinomiales ($y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots + zx^n$)

Los componentes de los modelos lineales utilizados son:

y = Peso vivo del animal.

a = Peso a la edad 0.

b, c, \dots, n = Coeficientes de regresión.

x = Edad del animal.

No lineales

- Gompertz $y = Ae^{-Be^{(-kt)}}$
- Brody $y = A(1 - Be^{-kt})$
- Von Bertalanffy $y = A(1 - Be^{-kt})^3$
- Logístico $y = A(1 + e^{-kt})^{-M}$

Los componentes de los modelos no lineales utilizados son:

y = Peso vivo del animal a la edad “ t ”.

t = Edad del animal.

A = Peso adulto o asintótico en Kg.

B = Constante de integración.

k = Pendiente de la curva relativa a la tasa de crecimiento ($\text{Kg.Kg}^{-1}.\text{t}^{-1}$)

Para la elección del modelo más ajustado se utilizaron los coeficientes de determinación (r^2).

El modelo más ajustado posteriormente se analizó para cada genotipo de terneros: Hereford, Angus, F1 y Retrocruzas. Nuevamente, el grado de ajuste fue determinado mediante el coeficiente de determinación de cada modelo (r^2).

Para la modelación se utilizó la versión libre del Programa Infostat (2013).

3.5 En cada caso se obtuvieron además de los coeficientes de ajuste y los valores de los parámetros determinantes de las curvas de crecimiento de cada genotipo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 6 se presentaran los resultados del análisis de la varianza (ANAVA) para el peso vivo de los terneros desde el nacimiento hasta los dos años de edad en función de los diferentes efectos involucrados.

Cuadro 6. ANAVA de crecimiento de terneros de diferentes genotipos carniceros desde el nacimiento hasta dos años de edad.

Efecto	Grados de libertad	Número de observaciones	F valor	p valor
Año	10	1324	221,90	<0,0001
Raza del ternero	8	1324	6,16	<0,0001
Categoría madre	2	1324	5,81	0,0031
Sexo	1	1324	47,91	<0,0001
Fecha de nacimiento	1	1324	668,61	<0,0001
Pesaje	24	14542	2219,95	<0,0001
Año * Raza del ternero	49	1324	5,75	<0,0001

Como se puede apreciar hay efecto significativo en todos los factores considerados en el modelo. Estos resultados están dentro de lo esperable, ya que como se mencionara en trabajos publicados (Gregory y Cundiff 1980, Bavera et al. 2005), los factores tales como el genotipo, sexo, edad y desarrollo de la madre (categoría de la madre) y el clima son factores que afectan el crecimiento en la etapa postnatal.

En el cuadro 7 se presenta el coeficiente de determinación obtenido en cada uno de los modelos analizados, y que fuera tomado como criterio de elección de ajuste en cada caso.

Cuadro 7. Coeficientes de determinación (r^2) y parámetros obtenidos para describir el crecimiento de terneros usando modelos lineales y no lineales.

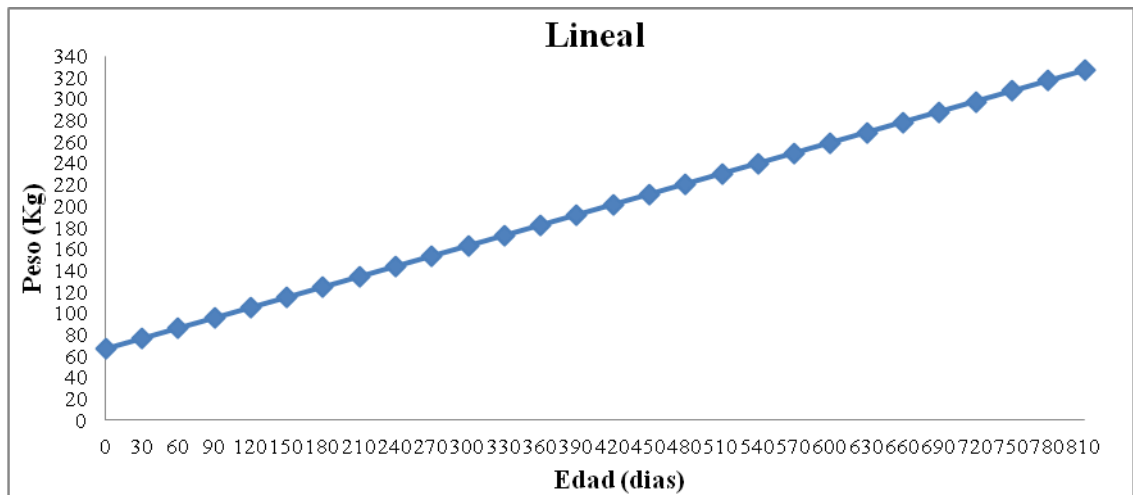
Modelo	r^2	Parámetros
Lineal	0,79	a=67,10 ± 0,48 b=0,32 ± 0,0014
Cuadrático	0,80	a=58,50 ± 0,65 b ₀ =0,40 ± 0,004 b ₁ =0,00012 ± 6,30E ⁻⁶
Cúbico	0,82	a=43,90 ± 0,72 b ₀ =0,71 ± 0,009 b ₁ =-0,0013 ± 0,00003 b ₂ =0,0000011 ± 0,00000003
Gompertz	0,958	A=366,46 ± 4,55 B=1,71 ± 0,01 k=2,6E ⁻³ ± 4,9E ⁻⁵
Brody	0,960	A=496,37 ± 13,04 B=0,89 ± 2,4E ⁻³ K=1E ⁻³ ± 4,1E ⁻⁵
Von Bertalanffy	0,959	A=388,3 ± 5,66 B=0,45 ± 0,002 K=0,002 ± 0,00005
Logístico	0,957	A=332,87 ± 3,06 M=3,59 ± 0,03 K=4,2E ⁻³ ± 5,7E ⁻⁵

Como se observa en el cuadro, los modelos lineales (Lineal, Cuadrático y Cúbico) son los que presentan menores coeficientes de determinación (r^2). Entre los modelos no lineales (Gompertz, Brody, Von Bertalanffy y Logístico), el que presentó mayor r^2 es el modelo de Brody, a pesar de ser muy bajas las diferencias entre ellos.

4.1 MODELOS LINEALES

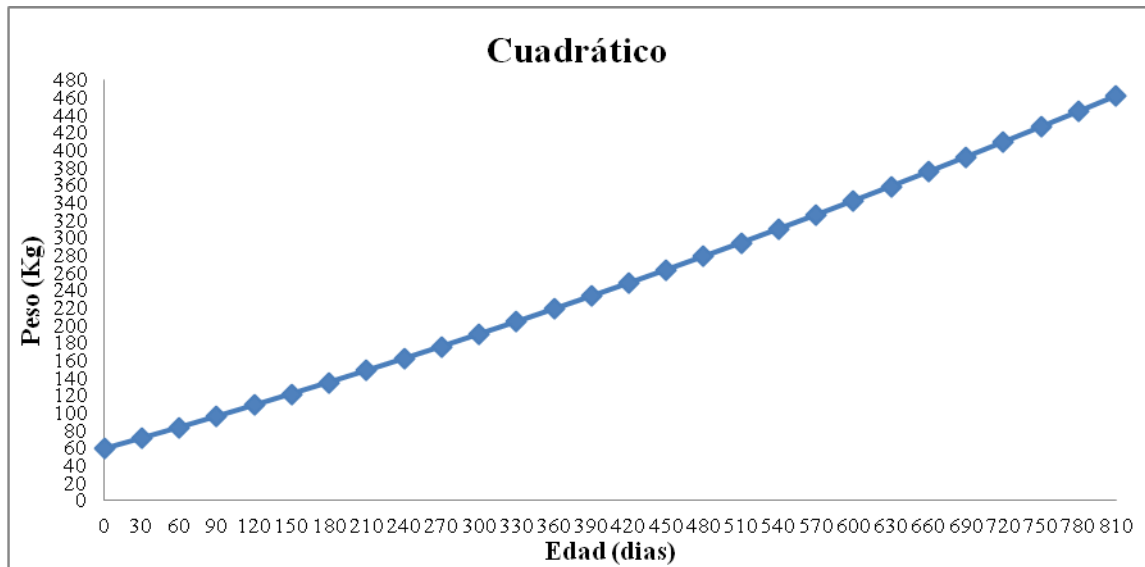
En la figura 1, 2 y 3 se presentan las graficas de las curvas de crecimiento ajustadas a los modelos lineales analizados.

Figura 1. Modelo lineal aplicado a la evolución del crecimiento de terneros de diversos genotipos para producción de carne.



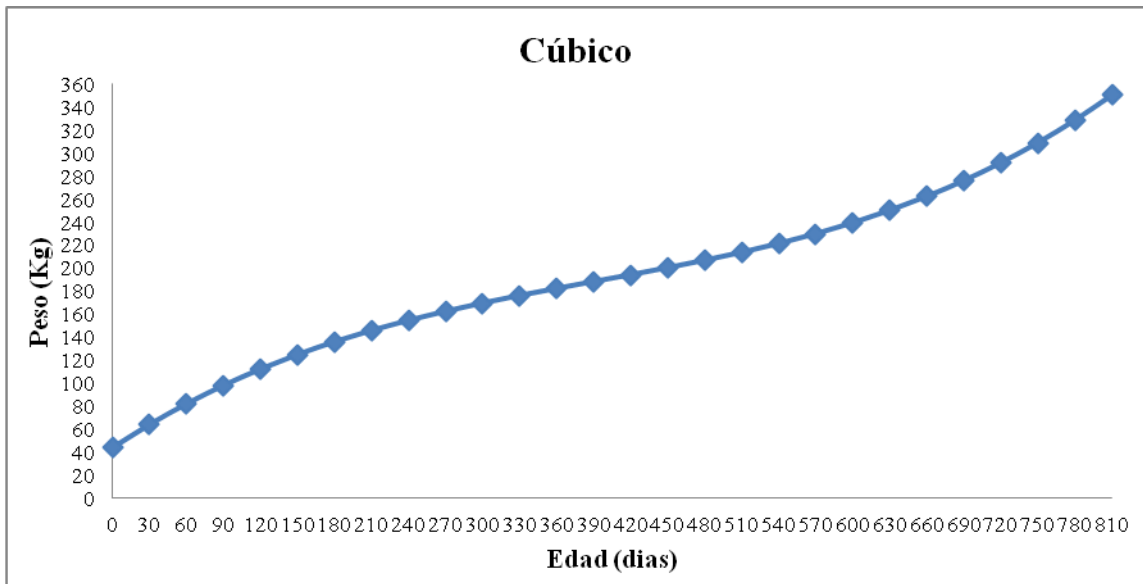
El modelo lineal ($a= 67$; $b= 0.32$) asume una tasa de crecimiento diario constante a lo largo de la vida del animal. Varios trabajos publicados coinciden en que este modelo no sería el más adecuado al crecimiento de bovinos. Como establecen Wilkinson y Tayler (1972) el crecimiento en la fase postnatal puede ser representado por una curva sigmoidea, lo que coincide a su vez con el bajo r^2 estimado para esta base de datos.

Figura 2. Modelo cuadrático aplicado a la evolución del crecimiento de terneros de diversos genotipos para producción de carne.



Si bien este modelo presenta un ajuste levemente superior al lineal (0,80 vs 0,79), presenta tasas crecientes de crecimiento diario y no se observa ningún cambio de concavidad, evidenciado en un coeficiente cuadrático (b_1) positivo. Luego de la pubertad se esperaría una desaceleración de la tasa de crecimiento (Wilkinson y Talyer, 1972), por lo que se espera que a partir de este modelo haya una sobreestimación del peso en la última etapa del período analizado.

Figura 3. Modelo cúbico aplicado a la evolución del crecimiento de terneros de diversos genotipos para producción de carne.

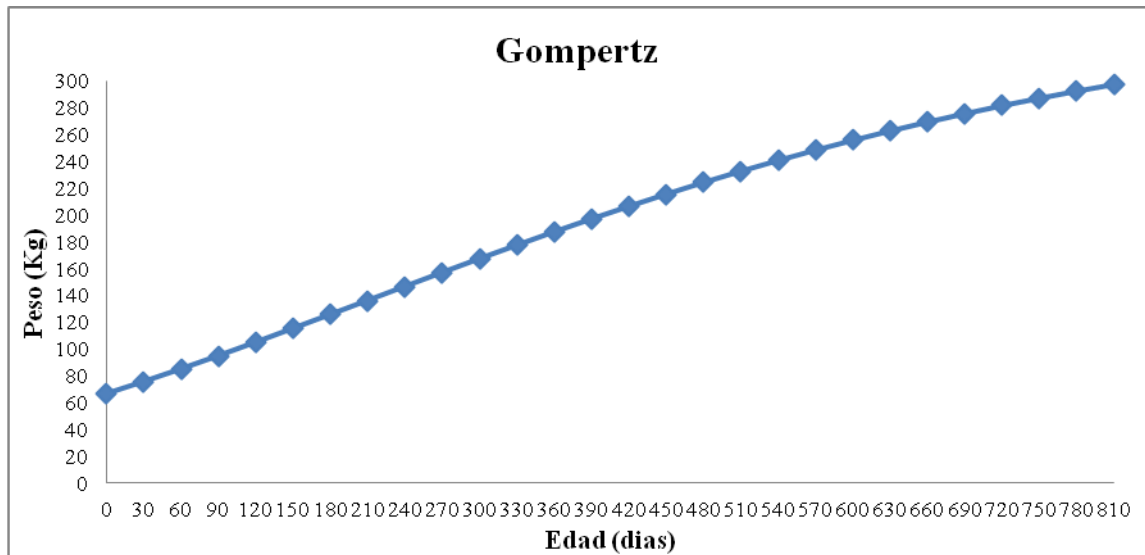


Este modelo de regresión se ajusta con mayor precisión respecto a los anteriormente analizados ($r^2 = 0,82$). El mismo refleja evoluciones de pesos vivos a tasas decrecientes hasta aproximadamente el año de edad para luego seguir con tasas crecientes. Este comportamiento se contradice con las descripciones realizadas por varios autores (Lawrence y Fawler, 1997), en donde al comienzo de su vida el animal aumenta de peso en forma creciente hasta alcanzar la pubertad, continuando luego con tasas decrecientes hasta su peso adulto.

4.2 MODELOS NO LINEALES

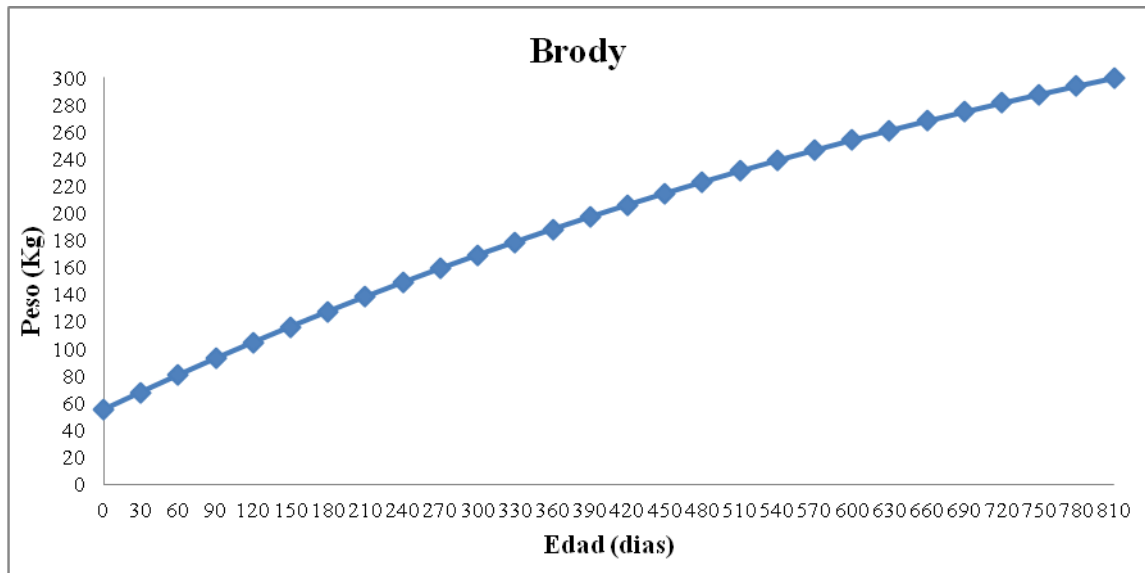
En las figuras 4, 5, 6 y 7 se muestran las curvas de crecimiento ajustadas a modelos no lineales descritos por Gompertz, Brody, Von Bertalanffy, así como la curva logística propuesta por Nelder (1961).

Figura 4. Modelo de Gompertz aplicado a la evolución del crecimiento de terneros de diversos genotipos para producción de carne.



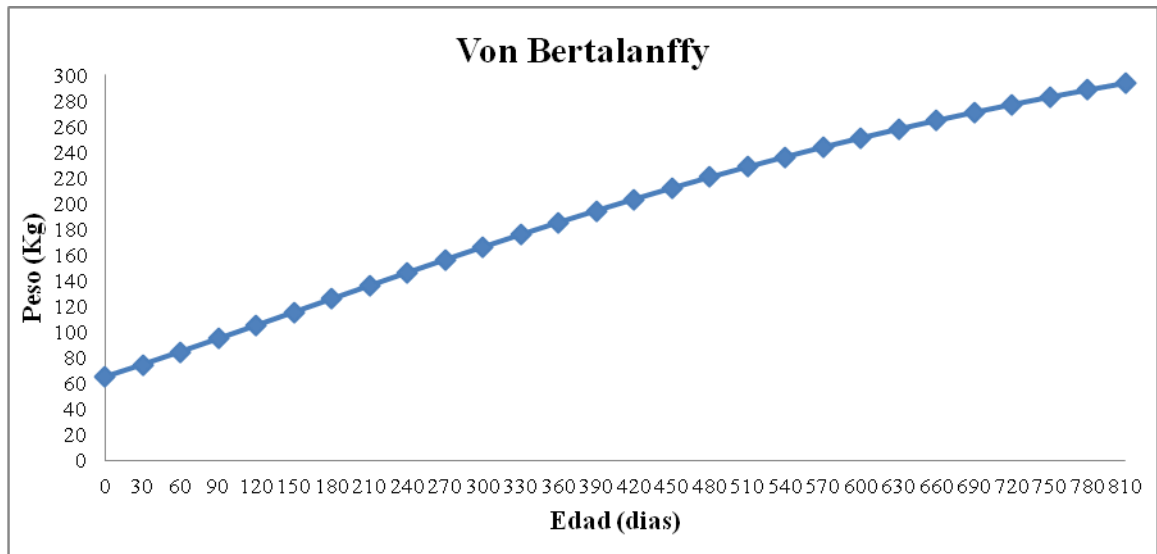
Se puede observar que este modelo sobrestima el peso a la edad 0 (66 Kg). Según lo reportado por Gimeno et al. (2002) los pesos al nacer en terneros Hereford, Angus y sus cruas en nuestro país son próximos a los 30 Kg. A lo largo del crecimiento, el comportamiento de esta curva se vuelve más acorde a la realidad, tendiendo a alcanzar un peso máximo con ganancias diarias decrecientes, subestimando el peso maduro ($A= 366$ Kg) en relación a los parámetros obtenidos para el modelo de Brody (Figura 5), el que logra para esta base de datos el mayor ajuste. En contraposición a lo que afirma Ribeiro (2005) trabajando con genotipos cebuínos en sistemas pastoriles del trópico, este modelo no es el que mejor se ajusto al crecimiento de estos bovinos.

Figura 5. Modelo de Brody aplicado a la evolución del crecimiento de terneros de diversos genotipos para producción de carne.



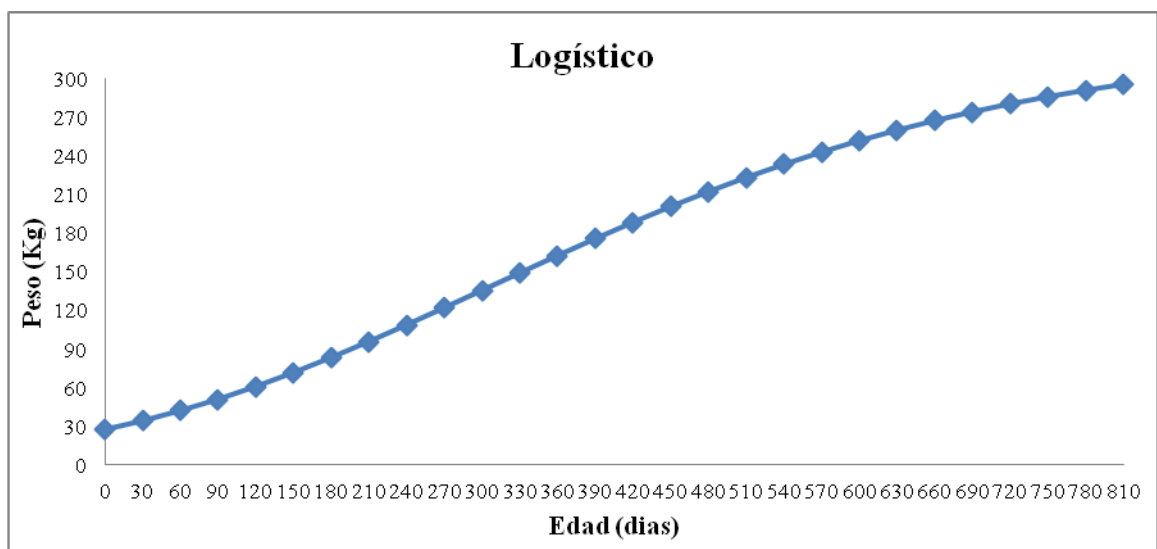
Este modelo es el que presenta el mayor coeficiente de determinación ($r^2=0.96$), a pesar de tener crecimiento a tasas decrecientes durante todo el período analizado. De acuerdo a la metodología a seguir, este es el modelo que se utilizara para realizar la comparación de cada genotipo individualmente. No obstante se puede observar que también sobreestima el valor de peso vivo inicial (55 Kg) en relación a los pesos observados para las razas utilizadas en nuestro país (Gimeno et al., 2002). Por el contrario se evidencia un valor de peso maduro de 496 Kg (Parámetro A), cercanos a los publicados para dichas razas y cruza en condiciones nacionales (Rogberg 2006, Espasandín et al. 2006).

Figura 6. Modelo de Von Bertalanffy aplicado a la evolución del crecimiento de terneros de diversos genotipos para producción de carne.



La curva de Von Bertalanffy presenta un comportamiento similar al modelo de Brody, presentando un peso a la edad 0 levemente superior. Por otro lado al igual que en la curva de Gompertz se observa una subestimación del peso maduro.

Figura 7. Modelo Logístico aplicado a la evolución del crecimiento de terneros de diversos genotipos para la producción de carne.



Por la forma de la curva este modelo debería ser el que mejor se ajusta al crecimiento de la población analizada.

No obstante, si bien el peso inicial es el que más se asemeja a los pesos al nacer reportados para los rodeos nacionales (Gimeno et al. 2002, Espasandin et al. 2006, Rogberg 2006), el peso a la madurez es subestimado al igual que Gompertz y Von Bertalanfy.

A pesar de lo anterior, no es el modelo que presente mayor coeficiente de determinación, por lo que no será elegido para modelar los diferentes genotipos.

4.3 MODELO ELEGIDO

Para elegir el modelo se utilizó el coeficiente de determinación (r^2), tomando el que presenta el mayor valor como el modelo que mejor se ajusta al conjunto de datos. A pesar de que las diferencias entre los modelos no lineales en dicho coeficiente son mínimas, al ser este el único criterio de elección, el que presentó mayor ajuste fue el modelo definido por Brody en 1945.

Por otro lado, los parámetros estimados en esta curva permiten visualizar una mayor coherencia biológica en el peso maduro estimado (parámetro A, con 496 Kg.).

Los parámetros ajustados al modelo de Brody en este trabajo resultaron similares a los obtenidos por Domínguez et al. (2012). En dicho trabajo este modelo fue el que presentó un mayor ajuste. Este experimento fue realizado en México, sobre una base de un rodeo de la raza Tropicarne, con registros de peso vivo mensual desde el nacimiento hasta los dos años de edad, con alimentación en base a pasturas.

De la misma manera, Posada et al. (2011) en un trabajo realizado en Brasil, con cebuinos enteros de raza Nelore en confinamiento, encontraron que dicho modelo también fue el que presentó un mayor ajuste. En ese trabajo el peso maduro (parámetro A) presentó una marcada diferencia con los otros dos trabajos analizados.

Cuadro 8. Comparación de parámetros del modelo de Brody encontrados por distintos autores.

Parámetro	Actual trabajo	Domínguez et al.	Posada et al.
A	496,37 ± 13,04	494,90 ± 6,08	923,5 ± 162,3
B	0,89 ± 0,0024	1,5954 ± 0,02	1,1359 ± 0,0669
K	0,0010 ± 0,000041	0,0544 ± 0,0012	0,0010 ± 0,00028
r²	0,96	0,82	0,99

Las diferencias encontradas entre los trabajos comparados pueden deberse a los ambientes en los cuales se realizaron los experimentos. Este trabajo se realizó en un

clima templado (Cerro Largo, Uruguay) mientras que los trabajos de Posada et al. (2011), Domínguez et al. (2012) se desarrollaron en climas tropicales. Posiblemente las diferencias encontradas pueden también ser atribuidas a las diferentes razas utilizadas por los distintos autores, en el presente trabajo se utilizaron razas británicas (HH y AA) y sus respectivas cruzas, mientras que Posada et al. (2011), Domínguez et al. (2012) trabajaron sobre Nelore y Tropicarne respectivamente, a su vez Posada et al. (2011) trabajaron con machos enteros y en confinamiento.

Considerando la importancia de las razas británicas y sus cruzas en la producción de carne en el país, se ajustó el modelo de Brody para dichos genotipos (Angus, Hereford, F1, Retrocruza Angus y Retrocruza Hereford).

En el cuadro 9 se presentan los parámetros ajustados del modelo de Brody a los diferentes genotipos analizados. A= peso maduro, B= constante de integración y K= tasa de madurez.

Cuadro 9. Parámetros (A, B y K) obtenidos en la curva de Brody para los genotipos AA, HH, F1, RA y RH.

	A	B	K
AA	373,6 ± 13,65	0,86 ± 0,045	0,0016 ± 0,00011
F1	603,5 ± 46,4	0,91 ± 0,0059	0,00076 ± 0,000083
HH	410,4 ± 21,73	0,88 ± 0,0055	0,0014 ± 0,00012
RA	546,8 ± 34,33	0,89 ± 0,0054	0,0009 ± 0,000084
RH	580,4 ± 51,68	0,89 ± 0,0081	0,00076 ± 0,000097

A= Peso maduro (Kg.).

B= Constante de integración.

K= Tasa de madurez (Kg.Kg⁻¹.t⁻¹).

Lo primero que se destaca del cuadro anterior es la diferencia en el peso maduro (parámetro A) entre las razas puras y las cruzas, siendo mayor esta diferencia en los genotipos F1. Las diferencias entre genotipos puros y cruzas han sido publicadas para varios sistemas de cruzamientos en nuestro país (Gimeno et al. 2002, Rogberg 2006).

En cuanto a las razas puras se puede observar que el genotipo Hereford presenta un mayor peso maduro si lo comparamos con el genotipo Aberdeen Angus, por lo que como era de esperar, la retrocruza Hereford presenta un mayor peso maduro que la retrocruza Angus. En cuanto a la constante de integración (parámetro B) se puede ver que los valores son muy similares si comparamos los diferentes genotipos. En lo que

refiere a la tasa de madurez (parámetro K), se ve claramente que los genotipos puros tienen una mayor K, lo cual puede ser explicado porque alcanzan antes un menor peso maduro. La inversa de este parámetro (k) nos da el tiempo en que cada genotipo tarda en alcanzar la madurez. En este caso los días requeridos para alcanzar la madurez en AA varía entre 585 y 671 días, en tanto para los genotipos F1 este rango se sitúa entre 1186 y 1477 días, se ejemplifican estos dos genotipos ya que son los más contrastantes en el valor del parámetro K.

El coeficiente de determinación (r^2) alcanzado por los diferentes genotipos se presenta en el cuadro 10.

Cuadro 10. Coeficiente de determinación (r^2) del modelo de Brody ajustado a los diferentes genotipos.

Genotipo	r^2
AA	0,959
F1	0,964
HH	0,74
RA	0,96
RH	0,96

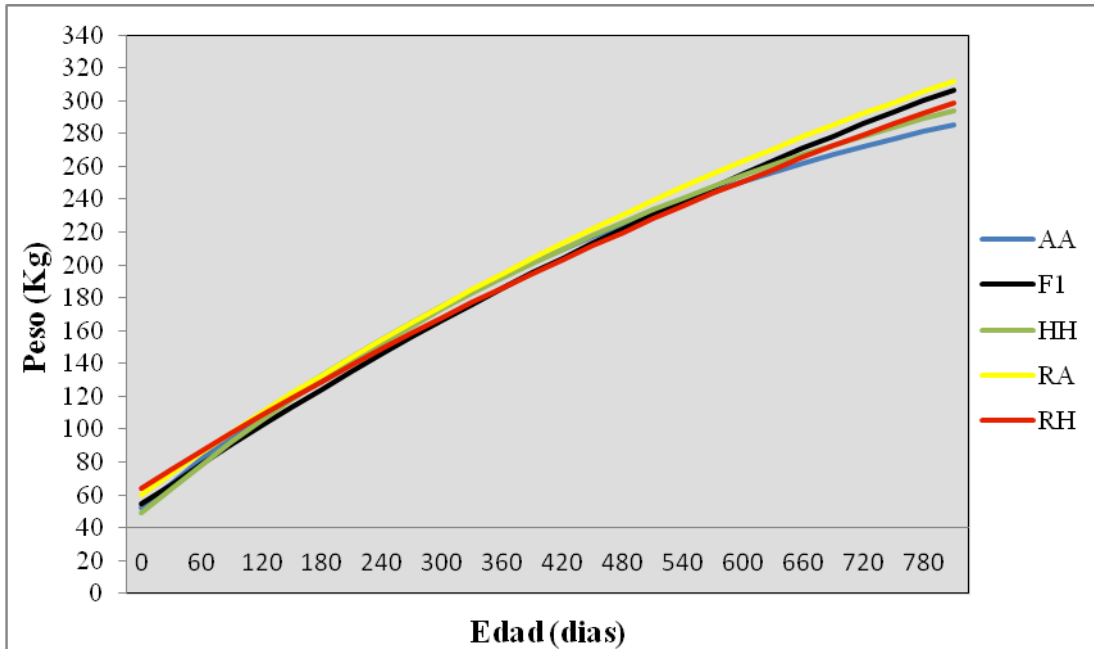
En el cuadro anterior se observa que el modelo elegido tiene un buen ajuste para la mayoría de los genotipos ($r^2= 0,96$), con la excepción de Hereford que a pesar de presentar un ajuste aceptable ($r^2= 0,74$), son evidentes las diferencias en comparación a los otros grupos genéticos.

Es probable que el genotipo Hereford tenga un mayor ajuste con otro modelo estadístico. Este menor ajuste desde el punto de vista biológico podría deberse a una adaptación diferencial al medio ambiente. Según Rogberg (2006), la raza Hereford presentaría menores pérdidas de peso durante las restricciones invernales en animales mantenidos a campo natural. Esto implicaría que durante el período de realimentación la compensación se lograría antes que las otras razas.

De la misma manera Espasandín y Ducamp (2004) en un trabajo realizado, afirman que las razas de menor porte y mayor habilidad para acumular reservas corporales en períodos favorables, como lo son Hereford y Angus, serán las más apropiadas pues son capaces de superar las crisis ambientales ya sea mediante las reservas corporales acumuladas o por sus menores requerimientos de mantenimiento. Por el contrario, las situaciones de producción que ofrecen climas benevolentes, así como condiciones alimenticias no restrictivas, permitirán la explotación de razas de mayor porte.

Por otro lado como se observa en la figura 8 el peso final alcanzado por los genotipos puros es menor al de las cruzas en coincidencia con lo reportado por (Rogberg 2006, Espasandín et al. 2006)

Figura 8. Modelo de Brody ajustado para los genotipos AA, HH, F1, RA y RH.



En la gráfica presentada se observa que ningún genotipo es superior a otro durante todo el período, lo que evidencia una interacción entre el genotipo y el peso a una edad determinada.

Los genotipos puros, son los que presentan menor peso inicial, además son los primeros en alcanzar el peso maduro o asintótico (parámetro A), reflejando una mayor velocidad de crecimiento o pendiente (parámetro K). También estos genotipos son los que muestran el menor peso final, en comparación con el resto.

En tanto, los genotipos F1 y RA presentan un mayor peso (en el período analizado), lo que determina que el período de mayor velocidad de crecimiento se prolongue por más tiempo, en relación a los genotipos puros; logrando así un mayor peso final. Ambos genotipos presentan un comportamiento similar durante todo el período de estudio, pero la RA presenta en todo momento mayores pesos. A pesar de que sería esperable que la F1 presente pesos más elevados, explicados por una mayor

heterosis individual; las diferencias a favor de la RA pueden deberse a que este genotipo presenta, tanto heterosis individual, como materna.

El genotipo RH es el que presenta el mayor peso al momento cero, pero a diferencia de los demás, no presenta el crecimiento acelerado en la etapa de pubertad (entorno al año de edad), lo que se ve reflejado también en el peso final, menor a F1 y RA.

En síntesis, el período estudiado podría dividirse en tres etapas. La primera abarca desde el nacimiento (edad 0) hasta los 220 días aproximadamente, en la cual los que presentan características deseables, como ser, bajo peso al nacer y rápido crecimiento, son los genotipos puros. Siendo estos superiores al resto.

La segunda etapa corresponde al período que va desde los 220 hasta los 600 días aproximadamente. Esta etapa presenta una superioridad en todo momento del genotipo RA. Los genotipos puros alcanzan la máxima tasa de crecimiento y luego el crecimiento se da a menores tasas. Hacia el final de esta etapa todos los genotipos cruzados superan en peso a los puros, lo que puede estar explicado por el mayor peso maduro que estos alcanzan en relación a los puros, gráficamente, la asíntota se da antes en los genotipos puros.

En lo que respecta a la tercera etapa, que consta del período entre los días 600 y 810, se observan las mayores diferencias entre los genotipos. Siendo Angus el que presenta el menor peso final ya que a esa edad se encuentra próximo al peso maduro.

4.4 IMPLICANCIAS PRÁCTICAS

Luego de finalizado el trabajo se pueden realizar algunas recomendaciones prácticas en base a lo estudiado y a los resultados obtenidos.

El estudio del crecimiento ajustado a una curva, resulta muy importante al estar directamente relacionado con la cantidad y calidad de carne producida. Además las diferentes curvas de crecimiento permiten identificar los animales que presenten mayor peso en menor edad que se traduce en mayor precocidad y mayor beneficio económico para las empresas ganaderas.

Dichas curvas no solo nos indican cuales son las necesidades nutricionales y ambientales de los animales en las diferentes fases de su vida, sino que también permiten evaluar, por medio de los parámetros del modelo, la eficiencia del crecimiento animal y proveen información para elaborar programas de mejoramiento genético.

Entre las posibilidades de aplicación de las curvas de crecimiento en la producción animal, se destacan: resumir en tres o cuatro parámetros las características de producción, pues algunos parámetros de los modelos no lineales utilizados poseen interpretación biológica; evaluar el perfil de respuesta de tratamiento a lo largo del tiempo; estudiar interacciones de respuestas de los tratamientos con el tiempo; identificar en una población los animales más pesados en edades más jóvenes; obtener la varianza entre y dentro de individuos de gran interés general en los estudios de curvas de crecimiento.

Las razas elegidas para producción deberían ser aquellas capaces de armonizar con el clima y los recursos alimenticios disponibles, obteniendo de esta forma productos con eficiencia desde los puntos de vista biológico y económico.

Dependiendo de la orientación productiva del establecimiento se puede adecuar el mejor genotipo para cada situación. Debido al bajo peso al nacer y a la rápida tasa de crecimiento en los primeros meses de vida, podrían adecuarse mejor los genotipos puros a un establecimiento exclusivamente criador, además al presentar pesos maduros menores, en base a NRC (2001) los requerimientos de mantenimiento deberían ser menores ya que son calculados en base al peso vivo.

Si el objetivo es lograr altos pesos de faena se deberían utilizar genotipos cruza, ya que estos alcanzan un mayor peso maduro.

Observando la pendiente de la curva de crecimiento de los distintos genotipos, se puede prever en qué momento será mayor la respuesta del animal a una mejora en la alimentación. Este momento varía según el genotipo pero en términos generales se encuentra desde el nacimiento hasta los doce meses de edad (sobreaño) aproximadamente.

5. CONCLUSIONES

Según el análisis de varianza, todos los efectos fijos considerados (año, raza del ternero, categoría de la madre, sexo, fecha de nacimiento, pesaje, interacción año por raza del ternero) afectan el crecimiento.

Los modelos no lineales tienen mayor ajuste que los lineales.

El modelo de Brody es el que presenta un mayor ajuste dentro de los modelos analizados, siendo la diferencia entre los diferentes modelos no lineales muy escasa. Dicho modelo permitió describir el crecimiento de las razas analizadas, de acuerdo con las características de crecimiento en nuestro país, con alimentación basada en pastoreo. Presentó las menores tasas de crecimiento y el tipo de curva no se ajustó al sentido estricto de la curva sigmoidea, característica de otros modelos no lineales ajustados en algunas razas de bovinos para carne. La forma y características de la curva de crecimiento pueden variar en función del ambiente y del sistema de producción.

Entre genotipos, el modelo elegido presenta muy buenos ajustes con excepción de la raza Hereford.

Los genotipos cruza tienen mayores pesos a la madurez en comparación con los genotipos puros, siendo mayor en los genotipos F1 y menor en la raza Angus.

El período de crecimiento de los genotipos puros es más reducido en el tiempo que los genotipos cruza; por lo cual dichos genotipos (cruza) alcanzan mayores pesos durante el período analizado.

6. RESUMEN

Las curvas de crecimiento son una herramienta utilizada para modelar el crecimiento del animal a lo largo de toda su vida. Varios autores han publicado diversas curvas para describir el crecimiento de los terneros de diferentes razas. Este trabajo se realizó con el objetivo de definir cuál es el modelo que tiene un mayor ajuste para condiciones pastoriles y genotipos característicos de los sistemas ganaderos del Uruguay. Los datos utilizados provinieron de la base de datos del rodeo de cría de la Estación Experimental Bernardo Rosengurt (EEBR) de la Facultad de Agronomía - UdelaR, utilizando los pesos de todos los animales nacidos durante el período 2002 - 2012 inclusive. Los pesos fueron registrados mensualmente, conformando una base de datos de 14542 registros de peso, provenientes de 1324 animales. Se utilizaron dos tipos de modelos: lineales y no lineales. Los modelos lineales utilizados fueron: lineal, cuadrático, cúbico; y dentro de los no lineales se trabajó con los modelos de: Gompertz, Von Bertalanffy, Brody y Logístico. Los resultados sugieren mayores precisiones en los modelos no lineales en comparación con los lineales. Dentro de los no lineales, si bien no se observan diferencias, el modelo de Brody presentó mayor coeficiente de determinación ($r^2 = 0,96$). Posteriormente se ajustó este modelo para los diferentes genotipos considerados (AA, HH, F1, RA y RH), obteniéndose un coeficiente de determinación alto para todos los genotipos con la excepción de Hereford, en el cual su ajuste fue menor a los anteriores (0,74 vs 0,96) siendo este valor igualmente aceptable. En cuanto a los parámetros obtenidos, los genotipos cruce tienen mayor peso maduro en comparación con los puros, y por lo tanto su período de crecimiento hasta alcanzar dicho peso maduro será mayor, lo que concuerda con la menor tasa de madurez obtenida para dichos genotipos.

Palabras clave: Bovinos de carne; Crecimiento; Curvas de crecimiento; Genotipos; Peso vivo; Edad; Cruzamientos; Brody.

7. SUMMARY

Growth curves are used as a tool to model the growth of animals along their life. Several authors have published various curves to describe the growth of calves of different breeds. This work was performed in order to define which model has a better fit for grazing conditions and genotypes characteristic of livestock systems in Uruguay. The data used came from the database of the breeding herd Experimental Station Bernardo Rosengurtt (EEBR) of the Facultad de Agronomía - UdelaR using the weights of all animals born during the period 2002 to 2012 inclusive. Weights were recorded monthly, forming a database of 14542 records weight from 1324 animals. Two types of models were used, linear and nonlinear. Linear models used were: linear, quadratic, and cubic; within nonlinear, were used Gompertz, Von Bertalanffy, Brody and Logistic. The results suggest that nonlinear models are more precise than linear ones. Within the nonlinear, although no differences were observed, Brody model showed higher coefficient of determination ($r^2 = 0.96$). This model is subsequently adjusted to the different genotypes considered (AA, HH, F1, RA and RH), obtaining a high coefficient of determination for all genotypes except Hereford, which was lower than its setting prior (0.74 vs 0.96) this also being an acceptable value. As for the parameters obtained, genotypes crosses has more mature weight compared to the pure, and therefore their growth period to reach that mature weight will be higher, which is consistent with the lower rate of maturity obtained for these genotypes.

Key words: Beef cattle; Growth; Genotypes; Body weight; Age; Crosses; Brody; Growth curves.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ÁLVAREZ, A.; PÉREZ, H.; HERNÁNDEZ, T.; QUINCOSA, J.; SÁNCHEZ, A. 2009. Fisiología animal aplicada. Antioquia, Universidad de Antioquia. 382 p.
2. BAVERA, G.; BOCCO, O.; BEGUET, H.; PETRYNA, A. 2005. Crecimiento desarrollo y precocidad. (en línea). In: Cursos de Producción Bovina de Carne (2005, Río Cuarto). Publicaciones. Río Cuarto, UNRC. FAV. pp. 1-11. Consultado 20 feb. 2014. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/externo/05-crecimiento_desarrollo_y_precocidad.pdf
3. BERG, R.T.; BUTTERFIELD, R. M. 1976. New concepts of cattle growth. New York, Sydney University. 240 p.
4. BLAXTER, K. L. 1956. The nutritive value of feed. Journal of Dairy Science. 39: 1936-1956.
5. BROWN, M.; LALMAN, D. 2010. Milk yield and quality in cows sired by different beef breeds. The Professional Animal Scientist. 26: 393-397.
6. BROWN, J.; FITZHUGH, H.; CARTWRIGHT, A. 1976. Comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. Journal of Animal Science. 42:810-817.
7. CASAL, A.; GUITIÉRREZ, V.; GRAÑA, A.; CARRIQUIRY, M.; ESPASANDÍN, A.C. 2009. Curvas de lactancia y composición de leche en vacas primíparas Hereford, Angus y sus respectivas cruza. In: Jornadas Uruguayas de Buiatría (37as., 2009, Paysandú, Uruguay). Memorias. Paysandú, CMVP. p. irr.
8. CUNDIFF, L.V.; GREGORY, K.E.; KONCH, R.M.; DICKERSON, G.E. 1986. Genetic diversity among cattle breeds and its use to increase beef production efficiency in a temperate environment. Lincoln, University of Nebraska. pp. 271-282.
9. DI MARCO, O.N. 1998. Crecimiento de vacunos para carne. Mar del Plata, Argentina, Centro del Copiado. 246 p.

10. _____. 2004. Fisiología de crecimiento de vacunos. (en línea). In: Curso de Posgrado Actualización en Invernada (1o., 2004, La Pampa). Publicaciones. La Pampa, s.e. pp. 1-8. Consultado 14 nov. 2013. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/externo/16-fisiologia_del_crecimiento.pdf
11. DOMÍNGUEZ, J.; RODRÍGUEZ-ALMEIDA, F.A.; NÚÑEZ, R.; RAMÍREZ, R.; ORTEGA, J.A.; RUIZ, A. 2012. Ajuste de modelos no lineales y estimación de parámetros de crecimiento en bovinos Tropicarne. *Revista Agrociencia (Chapingo)*. 47: 25-34.
12. ESPASANDÍN, A.C.; DUCAMP, F. 2004. El uso de cruzamientos vs. la utilización de razas puras para la producción de carne bovina. *Revista Cangüé*. no. 25: 15-18.
13. _____.; FRANCO, J.; GONZALO OLIVEIRA, G.; BENTANCUR, O.; GIMENO, D.; PEREYRA, F.; ROGBERG, M. 2006. Impacto productivo y económico del uso del cruzamiento entre las razas Hereford y Angus en el Uruguay. In: Jornadas Uruguayas de Buiatría (34as., 2006, Paysandú). Memorias. Paysandú, CMVP. p. 31.
14. GIMENO, D.; AGUILAR, I.; FRANCO, J.; FEED, O. 2002a. Como aumentar la eficiencia reproductiva utilizando cruzamientos; rasgos productivos y reproductivos de hembras cruza. In: Seminario de Actualización Cruzamientos en Bovinos para Carnes (2002, Tacuarembó). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 11-20 (Actividades de Difusión no. 295).
15. _____.; AVENDAÑO, S.; NAVAJAS, E.; LAMAS, A. 2002b. Utilización de cruzamientos como herramienta para el aumento del beneficio económico. In: Seminario de Actualización Cruzamientos en Bovinos para Carnes (2002, Tacuarembó). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 5-10 (Actividades de Difusión no. 295).
16. GÓMEZ, A.; CERÓN, M.; RESTREPO, L. 2008. Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 21: 39-58.
17. GREATHOUSE, J. R. 1985. Effects of feeder cattle frame size, sex and age class on performance, carcass and palatability characteristics. Ph.D. Thesis. Fort Collins, USA. Colorado State University. s.p.

18. GREGORY, K.E.; CUNDIFF, L.V. 1980. Crossbreeding in beef cattle; evaluation of systems. *Journal of Animal Science*. 51: 1224-1242.
19. _____.; _____.; KONCH, R. 1982. Comparison of crossbreeding systems and breeding stocks used in suckling herds in continental and temperate areas. *In: World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (2nd., 1982, Madrid). Proceedings. Madrid, Garsi. pp. 482-503.*
20. HAMMOND, J. 1960. *Farm animals*. London, Aronid. 322 p.
21. HUFFMAN, C. F.; DUNCAN, C.W. 1944. The nutritional deficiencies in farm animals on natural feeds. *Annual Review of Biochemistry*. 13: 467-486.
22. INSTITUTO PLAN AGROPECUARIO (IPA). 2011. *Manejo del rodeo de cría sobre campo natural*. Montevideo. 80 p.
23. JACKSON, C. M. 1925. *The effects of inanition and malnutrition upon growth and structure*. Philadelphia, Blakiston. 285 p.
24. LAKE, R. P.; HILDEBRAND, R. L.; CLANTON, D. C.; JONES, L. E. 1974. Limited energy supplementation of yearling steers grazing irrigated pasture and subsequent feedlot performance. *Journal of Animal Science*. 39: 827-833.
25. LAWRENCE, T.L.J.; FOWLER, V.R. 1997. *Growth of farm animals*. Cambridge, CAB International. 330 p.
26. _____.; PEARCE, J. 1964. Some effects of wintering yearling beefcattle on different planes of nutrition. I. Liveweight gain, food consumption and body measeremens changes during the winter period and the subsequent grazing period. *Journal of Agriculture Science*. 63: 5-21.
27. LEWIS, J. M.; KLOPFENSTEIN, T. J.; STOCK, R. A. 1990. Effects of rate of gain during winter on subsequent grazing and finishing performance. *Journal of Animal Science*. 68: 2525-2529.
28. LONG, C.R. 1980. Crossbreeding for beef production; experimental results. *Journal of Animal Science*. 51 (5): 1197-1223.

29. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. (en línea). 7th rev. ed. Washington, D. C., National Academy Press. s.p. Consultado 26 feb. 2014. Disponible en http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=9825
30. NELDER, J.A. 1961. The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*. 17: 89-110.
31. NOUR, A.Y.M.; THONNEY, M.L. 1987. Carcass, soft tissue and bone composition of early and late maturing steers fed two diets in two housing types and serially slaughtered over a wide weight range. *Journal of Agriculture Science*. 109. 345-368.
32. POSADA, S.; ROSERO, R.; RODRÍGUEZ, N.; COSTA, A. 2011. Estimación de parámetros de curvas de crecimiento de ganado Nellore criado en confinamiento. *Revista MVZ (Córdoba)*. 16: 2701-2710.
33. RIBEIRO, A. 2005. Curvas de crescimento em produção animal. *Revista Brasileira de Zootecnia (Brasilia)*. 34: 786 – 795.
34. ROGBERG, M. 2006. Heterosis y desempeño en características de crecimiento en las razas Angus, Hereford y su cruce F1. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 39 p.
35. ROVIRA, J. 1996. Manejo nutritivo del rodeo de cría en pastoreo. Montevideo, Hemisferio Sur. 287 p.
36. SILVA, F. F.; AQUINO, L. H.; OLIVEIRA, A. I. 2002. Estimativas de parámetros genéticos de curva de crecimiento de gado nelore (*Bos indicus*). *Revista Ciência Agrotecnica*. dic.: 1562-1567.
37. STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS (SAS). 2009. Versión 9.2. Cary, NC. s.p.
38. URUGUAY. INSTITUTO NACIONAL DE CARNES (INAC). 2012. Anuario estadístico 2012. Montevideo. 23 p.
39. _____. MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS. 2013. Anuario estadístico agropecuario 2012. Montevideo. 244 p.

40. VELA, J.; SANDY, A.; LASCANO, C. E. 1998. Efecto de la alimentación suplementaria y el amamantamiento restringido en el rendimiento del ternero y la producción de leche de la vaca. *Pasturas Tropicales*. 21 (3): 8-13.
41. VERDE, L. 1974. Estado actual de los conocimientos sobre crecimiento compensatorio. (en línea). *Producción Animal*. 3: 112-144. Consultado 16 dic. 2013. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/externo/03-crecimiento_compensatorio.pdf
42. WATERS, H. J. 1908. Capacity of animals to grow under adverse conditions. *Proceedings of the Society for the Promotion of Agricultural Science*. 29: 71-96.
43. WILKINSON, J. M.; TAYLER, J. C. 1972. Producción de vacuno de carne en praderas. Zaragoza, Acribia. 118 p.
44. WILSON, P. N.; OSBOURN, D.F. 1960. Compensatory growth after undernutrition in mammals and birds. *Biological Review*. 35: 324-363.