



Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias

<http://rccp.udea.edu.co>

RCCP

Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz y su aplicación al crecimiento de los cerdos[✉]

Mathematical properties of the Gompertz model and its application to the growing pig

Propriedades matemáticas do modelo de Gompertz e sua aplicação ao crescimento de suínos

Gloria A Casas^{1*}, MV, Msc; Daniel Rodríguez¹, Zoot; Germán Afanador Téllez¹, MVZ, Msc., PhD.

¹Departamento de Ciencias para la Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Carrera 30 No. 45-03, Bogotá, D. C.

(Recibido: 27 octubre, 2009; aceptado: 15 junio 2010)

Resumen

En esta investigación se utiliza el modelo de crecimiento de Gompertz para describir el crecimiento corporal, de la canal y de los componentes químicos (proteína, lípido, ceniza y agua) de cerdos en condiciones comerciales de producción. La descripción del crecimiento y los cambios en la deposición de macromoléculas se realizó en 10 edades (1, 21, 63, 99, 126, 154, 175, 210, 239 y 273 días de edad), sacrificando 39 cerdos. Se colectaron muestras de canal, vísceras rojas y vísceras blancas y se analizaron los componentes químicos. Se verificó que los parámetros del modelo tienen un significado y sensibilidad biológica, que pueden ser interpretados por la madurez al 50% y el peso adulto, los cuales sirven para estimar la influencia de factores ambientales que modifican los parámetros de crecimiento. Los hallazgos de este estudio sitúan las tasas de retención de proteína en 129 g/día, es decir un 17.3% inferior a los hallazgos con genotipos altamente seleccionados y soportan la teoría que establece que las tasas de retención de proteína están estrechamente relacionadas con los patrones de ganancia diaria de peso corporal. El grupo experimental presentó comportamientos en la deposición de los componentes químicos corporales similares a las de animales no mejorados.

Palabras clave: crecimiento, modelación matemática, parametrización.

Summary

In this study, the Gompertz model is used to describe the changes in chemical components (protein, lipids, ash and water) in growing pigs, as body weigh increases. Growth and changes in deposition of

✉ Para citar este artículo: Casas GA, Rodríguez D, Afanador G. Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz y su aplicación al crecimiento de los cerdos. Rev Colomb Cienc Pecu 2010; 23:349-358.

* Autor para correspondencia: Gloria A Casas. Departamento de Ciencias para la Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Carrera 30 No. 45-03, Edificio 561, Bogotá, D. C. E-mail: gacasasbe@unal.edu.co.

several molecules was evaluated at 10 different ages (1, 21, 63, 99, 126, 154, 175, 210, 239 and 273 days of age) in 39 pigs. Carcass samples, red and white viscera were collected and submitted for chemical analysis. Our study demonstrated that the model parameters have significance and biological sensitivity, which can be interpreted through maturity at 50% and at adult weight. These traits can be used to estimate the effect of environmental factors on growth and adult weight. The 129 g/day protein retention rate found in the present study was 17.3% lower than the rate observed for highly selected genotypes, and it supports the theory that protein retention rates are highly related to daily body weight gain patterns. The studied genotype presented a similar pattern for the dynamics of chemical components as non-selected animals.

Key words: growth, mathematical modeling, parameterization.

Resumo

Nesta pesquisa é utilizado o modelo de crescimento de Gompertz para descrever as relações entre o peso corporal, o peso da canal e os componentes químicos (proteína, lipídeos, cinzas e água) do suíno. A descrição do crescimento e das mudanças na acumulação de macromoléculas foi realizada em 10 diferentes períodos (1, 21, 63, 99, 126, 154, 175, 210, 239 y 273 días de idade), por meio do sacrifício de 39 suínos. Foram coletadas amostras de canal, vísceras vermelhas e brancas para análise dos componentes químicos. Foi demonstrado que os parâmetros do modelo têm um significado e uma sensibilidade biológica que pode ser interpretada pela maturidade ao 50% e o peso adulto que são úteis para estimar a influencia dos fatores ambientais que modificam o crescimento e o peso adulto. Os resultados desta pesquisa mostraram taxas de retenção de proteína de 129 g/dia, quer dizer 17.3% inferior aos encontrados com genótipos altamente escolhidos e sustenta a teoria que estabelece que as taxas de retenção de proteína estejam intimamente relacionadas com os padrões de ganho diário de peso corporal. O genótipo avaliado apresentou comportamentos na dinâmica dos componentes químicos corporais similares aos dos animais não melhorados.

Palavras chave: crescimento, modelagem matemática, parametrização.

Introducción

Una apropiada descripción matemática de la dinámica de crecimiento a nivel comercial puede ser usada para explicar los patrones observados en campo, comparar tasas y predecir el comportamiento productivo de lotes en una empresa en particular. Así, un modelo de crecimiento ajustado brinda una oportunidad para describir características importantes, tales como la precocidad, la ganancia diaria, el peso adulto y el intervalo de tiempo entre el nacimiento y la madurez.

France y Thornley (1984) describen dos tipos modelos de crecimiento: los empíricos y los mecanísticos. Los modelos empíricos son funciones matemáticas, en las cuales se relacionan el tamaño de un animal con su edad, en estas funciones no se refleja la naturaleza que subyace al proceso biológico y generalmente son curvas que ajustan a una serie de datos, de las cuales se estiman los parámetros del modelo. Por otra parte,

los mecanísticos son construidos observando la estructura del sistema completo, dividiéndola en sus componentes claves y analizando el comportamiento del sistema, como un todo, en términos de sus componentes individuales y sus interacciones (Roush, 2006).

Un gran número de funciones matemáticas han sido diseñadas para describir el crecimiento, entre ellas el modelo de Gompertz (Turner *et al.*, 1976; Frace y Thornley, 1984). Winsor (1932) propuso usar el modelo de Gompertz para la descripción de fenómenos biológicos y económicos asociados al crecimiento. Este modelo asume que la tasa de crecimiento postnatal se incrementa monotónicamente hasta cuando alcanza un máximo y después decrece en forma monótona asintóticamente. La correspondiente curva de crecimiento es una sigmoideal, con un punto de inflexión (el cual corresponde a la máxima tasa de crecimiento con la edad) y una asíntota (Lawrence y Flower, 2002). En la fase inicial de la curva se

observa un periodo donde la tasa de crecimiento es cercana a 0, también denominada fase lag (Devlieghere *et al.*, 2008), y se describe como el tiempo en el cual se presenta la maduración del sistema inmunológico y se estructura el requerimiento de mantenimiento, su duración está limitada por el valor delta. Este valor corresponde a la edad, a la cual la línea tangente al punto de inflexión, corta el eje X.

Este trabajo busca describir el comportamiento del peso corporal, el peso de la canal y los componentes químicos (proteína, lípido, ceniza y agua) de cerdos a una edad (t), en concordancia con algunas propiedades matemáticas del modelo de Gompertz.

Materiales y métodos

Comité de ética

El estudio contó con la aprobación del Comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia. (Acta 03/2008).

Tipo de estudio

En este estudio se procesan los datos obtenidos en la caracterización del crecimiento y la composición corporal de cerdos para validar el uso del modelo de Gompertz como una herramienta teórica aplicable para la predicción del desempeño de estos animales en condiciones comerciales.

Ubicación del estudio

Los animales fueron seleccionados en una granja de cría comercial, ubicada en el municipio de Sylvania (Cundinamarca) a 1600 msnm, con temperatura promedio de 18 °C y permanecieron en ella hasta los 70 días de edad. Posteriormente, fueron trasladados al Centro Agropecuario Marengo, ubicado en el municipio de Mosquera (Cundinamarca), el cual esta 2600 msnm y presenta temperatura promedio de 14 °C.

Animales y manejo

Se sacrificaron 39 cerdos machos castrados de un cruce terminal comercial (Duroc-Landrace x

Yorkshire), seleccionados al nacimiento, de hembras con 2 a 5 partos, con pesos de 1.6 ± 0.3 kg. Cuatro lechones fueron asignados al azar a cada edad de sacrificio (1, 21, 63, 99, 126, 154, 175, 210, 239 y 273 días de edad, en el grupo asignado a 239 días de edad un cerdo murió antes de la fecha programada para sacrificio por lo que no se tuvo en cuenta en el estudio). Todos los animales fueron sometidos a prácticas comerciales de manejo (descolmillado, descolado, aplicación de 200 mg de hierro dextran) y adicionalmente se les suministró 2 ml de un prebiótico comercial. Los cerdos fueron pesados cada semana individualmente en una báscula electrónica, previa suspensión del alimento 12 horas antes. Los lechones fueron destetados a los 21 días y trasladados a jaulones con piso plástico ranurado elevados a 60 cm, asignando un espacio de 0.25 m² por animal. La temperatura se mantuvo en un rango entre 22 – 28 °C utilizando calefactores de gas propano y la ventilación se manejó con cortinas. A los 56 días se trasladaron a piso de concreto conservando un espacio 0.40 m² por animal. A los 70 días de edad se ubicaron en corrales de 11 animales, asignando 0.60 m² por animal. A los 105 días se trasladaron a corrales proporcionando 1.5 m² por animal. La temperatura ambiental fluctuó entre 14- 25°C y no se utilizó calefacción.

Alimentación

Se utilizaron cuatro dietas comerciales cuya composición química fue determinada en el laboratorio y se muestra en la tabla 1, el suministro se hizo diariamente a las 7:00 a.m. y a las 3:00 p.m. y la medición del residuo se realizó al día siguiente, a las 7:00 a.m. El cambio de dieta se efectuó a la edad indicada en la tabla 1, de acuerdo con el sistema de alimentación comercial.

Tabla 1. Composición química de dietas comerciales suministradas.

DIETA	Edad (días)	EB Kcal/kg	MS	Agua	PC	GC (%)	Ceniza (%)	FC	FDN
1	42	4489	90.47	9.53	23.78	3.1	7.61	2.62	10.89
2	63	4222	90.86	9.14	24.10	8.04	8.04	2.73	9.41
3	123	4486	86.87	13.13	21.92	7.16	8.21	8.21	12.42
4	150	4629	85.73	14.27	23.60	7.63	6.99	6.99	12.98

Sacrificio de animales y obtención de muestras

Los lechones hasta los 63 días fueron sacrificados en la granja de cría, mediante desensibilización por electrocución (110 v) y desangre inmediato. La canal y los grupos de vísceras, blancas y rojas, se conservaron por separado a -20 °C. Los cerdos de 99 a 273 días fueron sacrificados en la Planta Piloto de Carnes del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) de la Universidad Nacional de Colombia, utilizando procedimientos convencionales de sacrificio: desensibilización, izado, exanguinado, escaldado, pelado y eviscerado. A todos los cerdos seleccionados para cada edad se les suspendió el suministro de alimento 24 horas antes del sacrificio y fueron transportados a la planta 12 horas antes del mismo. Después del sacrificio, se separaron las vísceras rojas, blancas y la canal, registrando el peso de cada fracción. A partir de los 126 días de edad, la canal fue dividida en dos y se conservó la mitad izquierda. El estómago, intestino delgado e intestino grueso fueron pesados con contenido, posteriormente dicho contenido fue retirado y se pesaron los órganos vacíos.

La carne, el tocino y los huesos fueron separados y cortados en trozos de 3 cm², posteriormente se mezclaron las partes y fueron molidas, en un molino para carne con discos de 2.1 mm y 1.5 mm. Se tomaron muestras por triplicado, de 200 g las cuales fueron conservadas a -20 °C. Las muestras de vísceras rojas y blancas fueron colectadas con el mismo procedimiento.

Procesamiento de muestras

Una de las muestras de canal, vísceras rojas y vísceras blancas, fue utilizada para determinación de materia seca, en horno a 100 °C por 24 horas, otra muestra fue liofilizada para los análisis de proteína cruda, extracto etéreo (éter de petróleo) y ceniza. La muestra restante se conservó a -20 °C.

Los componentes químicos proximales totales (proteína total, lípido total, agua total y ceniza total), fueron analizados utilizando las técnicas descritas por AOAC (2000) y calculados sumando el peso de cada componente en la canal, la víscera roja y la víscera blanca, sin tener en cuenta los componentes químicos de la sangre y los pelos.

Selección del modelo

El modelo fue seleccionado mediante la evaluación y comparación de cinco de los modelos matemáticos que se presenta en Casas (2007). En este trabajo se utilizaron las pruebas descritas por Tedeschi (2006): Los parámetros iniciales fueron determinados usando el software Curve Expert 1.3®. Se simuló las curvas de peso corporal, canal, proteína, lípido, ceniza y agua en canal y vísceras con la edad. El modelo fue ajustado usando el procedimiento NLIN de SAS (SAS, 2002). Este es un método numérico de minimización / maximización y constituye un proceso iterativo. En este caso muchos posibles valores iniciales fueron especificados para cada parámetro, de tal forma que el algoritmo Gauss-Newton utilizado como método en el procedimiento NLIN, evaluó el modelo que para cada combinación de los valores iniciales y con un número de iteraciones inferior a 11, produjo en el proceso el menor valor residual de la suma de cuadrados (Frace y Thornley, 1984).

Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz

La ecuación de Gompertz surge a partir de modelos de crecimiento autorregulados, donde la tasa de crecimiento decrece exponencialmente con el tiempo después de alcanzar el punto de inflexión. La ecuación de Gompertz es usualmente expresada de la forma:

$$Y = a * \exp(-\exp(b - (c * t)))$$

Donde Y es el peso del animal a un tiempo t, a > 0 es el peso adulto, el parámetro c > 0 describe el índice de madurez o la tasa específica de crecimiento, y el parámetro b > 0 controla la diferencia entre el peso inicial y el peso final a un tiempo t. El punto de inflexión es el punto en el tiempo donde $y = a/2$, este da un $t = b/c$. La curva de Gompertz permite generar asimetría alrededor del punto de inflexión y alcanza este punto antes del 50% de peso adulto, muestra crecimientos tempranos rápidos, pero unos valores más lentos en la medida que se aproxima a la asíntota, con un largo periodo de crecimiento lineal alrededor del punto de inflexión. La tabla 2 resume las principales propiedades matemáticas del modelo de Gompertz, descritas por Winsor (1932).

Tabla 2. Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz.

Propiedades	
Ecuación	$Y = a \cdot \exp(-\exp(b - (c \cdot t)))$
Número de constantes	3
Asíntota	$Y = a$ (Peso adulto)
Inflexión	$t = b/c$; $Y = a/\exp$
Simetría	Asimétrico
Tasa de crecimiento	$dY/dt = c \cdot Y \cdot \exp(b - (c \cdot t)) = c \cdot Y \cdot \ln(a/Y)$
Tasa máxima de crecimiento	$(c \cdot a)/\exp$
Tasa relativa en función de t	$1/Y \cdot dY/dt = c \cdot \exp(b - (c \cdot t))$
Tasa relativa en función de Y	$1/Y \cdot dY/dt = c \cdot (\ln a - \ln Y)$

Fuente: Winsor, 1932

Otro parámetro de la función, de importancia biológica, es el peso al nacimiento el cual es dado por $a \cdot \exp(-\exp(\ln c))$ (Karkach, 2006).

Resultados

La parametrización del modelo de Gompertz respecto a la variable peso corporal se observa en la tabla 3. El peso corporal adulto para machos castrados del grupo experimental utilizado fue de 222.7 kg y para las macromoléculas, agua, lípidos, proteína y ceniza, de 91.68, 72.65, 28.14 y 5.47 kg, respectivamente. La parametrización de la segunda derivada igualada a 0 o punto de inflexión produce coordenadas de la edad X de 147, 124, 184, 127 y 154 días para peso corporal, peso del agua, lípido, proteína y ceniza, respectivamente. La parametrización sobre el eje Y produjo valores

de peso al punto de inflexión de 81.92, 33.72, 26.72, 10.35 y 2.01 kg para las variables y edades descritas anteriormente. Los valores de la pendiente de la línea tangente al punto de inflexión fueron de 0.893, 0.395, 0.305, 0.129 y 0.020 kg/día para las variables peso corporal, peso del agua, peso lípidos, peso de la proteína y peso de las cenizas, durante el periodo lineal de expresión de la curva o crecimiento exponencial. La máxima tasa de retención de proteína se observó aproximadamente, a los 63 kg de peso corporal, mientras la máxima retención de lípido se observó a los 114 kg. El peso corporal al nacimiento fue de 1.527 kg con una composición corporal estimada de 81.6 % para agua, 4 % para lípidos, 13.1 % para proteína, 3.9 % para cenizas. La fase Lag o de estructuración finalizó a los 56 días aproximadamente en cerdos con un peso promedio de 15 kg. Los componentes químicos, agua, lípidos, proteína y ceniza, finalizaron esta fase a los 8.6, 39, 13 y 12 kg de peso corporal, respectivamente. La tasa absoluta de crecimiento a los 100 kg de peso corporal fue 872 g/día para ganancia de peso corporal y se observaron ganancias composicionales relativas de 44.8 % para agua, 37.6 % para lípidos, 14.8 % para proteína y 2.8 % para ceniza.

El tiempo de crecimiento a un grado de madurez del 50% fue estimado en 181 días para el peso corporal, 156 días para agua, 217 para lípidos, 157 para proteína y 192 días para cenizas. El tiempo de crecimiento desde el nacimiento hasta 98% de la asíntota fue de 505, 458, 526, 439 y 553 días para agua, lípidos, proteína y ceniza, respectivamente.

Tabla 3. Parametrización del modelo de Gompertz para peso corporal y su composición química.

Variable	Peso corporal	Agua	Lípidos	Proteína	Ceniza
A	222.7	91.68	72.65	28.14	5.47
B	1.6059	1.4576	2.1027	1.5975	1.5054
C	0.0109	0.0117	0.0114	0.0125	0.00977
Edad Punto de Inflexión, días	147.33	124.58	184.45	127.80	154.08
Peso al punto de inflexión, kg	81.92	33.72	26.72	10.35	2.01
dY/dt Max, kg/d	0.893	0.395	0.305	0.129	0.020
Peso al nacimiento, kg	1.52	1.24	0.020	0.201	0.060
Fase lag o estructuración, d	55.59	39.11	96.73	47.80	51.73
Tasa relativa de crecimiento a 100 kg, kg/d	0.0087	0.0069	0.0146	0.0074	0.0082
Tasa absoluta de crecimiento a 100 kg, kg/d	0.8727	0.3500	0.2947	0.1154	0.0194
50% de la madurez, d	180.96	155.91	216.60	157.12	191.60
98% de la madurez, d	505.31	458.08	526.72	439.96	553.43

En la figura 1 se presentan las curvas para cada una de los componentes químicos y el peso corporal. obtenidas a partir de los parámetros calculados para el peso corporal.

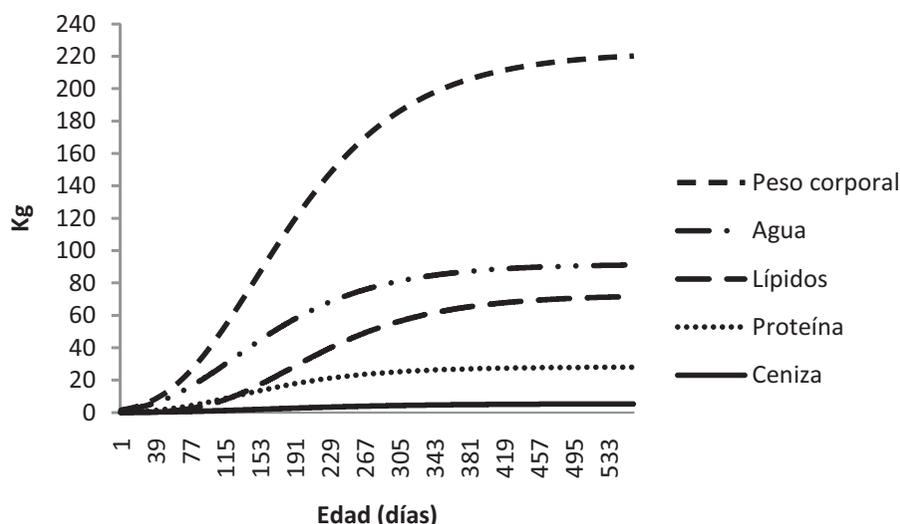


Figura 1. Curvas obtenidas de la parametrización del modelo Gompertz para el peso corporal y sus componentes químicos en cerdos castrados.

En la tabla 4 se describen las ecuaciones de Gompertz para el peso de la canal y el contenido de agua, lípidos, proteína y ceniza. Los valores obtenidos para peso adulto de estas variables fueron 181, 87.01, 65.22, 27.06, y 5.57 kg, respectivamente. La edad al punto de inflexión fue de 148.12 días para peso de la canal, 133.44 días para el agua, 182.56 días para lípidos, 134 días para proteína y 159 días para ceniza. Con la

parametrización sobre el eje Y se obtuvieron valores de peso al punto de inflexión de 66.5, 32, 23.99, 9.95 y 2.04 kg para cada variable, respectivamente. La pendiente de la línea tangente fue de 0.719, 0.358, 0.276, 0.119 y 0.019 kg/día para las variables mencionadas. La máxima tasa de retención de proteína en la canal se presentó los 57.18 kg de peso de canal mientras que la máxima retención de lípidos fue observada a los 91 kg.

Tabla 4. Parametrización del modelo de Gompertz para la canal y sus componentes químicos.

Variable	Peso de la canal	Agua	Lípidos	Proteína	Ceniza
A	181.0	87.01	65.22	27.06	5.57
B	1.5997	1.4945	2.0994	1.6159	1.5197
C	0.0108	0.0112	0.0115	0.0120	0.0095
Edad Punto de Inflexión, días	148.12	133.44	182.56	134.66	159.97
Peso al punto de inflexión, kg	66.58	32.00	23.99	9.95	2.04
dY/dt Max, kg/d	0.719	0.358	0.276	0.119	0.019
Peso al nacimiento, kg	1.280	1.009	0.018	0.177	0.058
Fase lag o estructuración, d	55.53	44.16	95.60	51.33	54.71
Tasa relativa de crecimiento a 100 kg, kg/d	0.0085	0.0074	0.0139	0.0078	0.0086
Tasa absoluta de crecimiento a 100 kg, kg/d	0.7009	0.3323	0.2707	0.1104	0.0194
50% de la madurez, d	182.06	166.17	214.43	165.20	198.55
98% de la madurez, d	509.41	481.83	521.86	459.82	570.70

El peso de la canal al nacimiento fue de 1.28 kg, con una composición estimada de 78.8% de agua, 14.5% de lípidos, 9.1% de proteína y 4.5% de cenizas. La fase Lag para el peso de la canal terminó a los 55.5 días con un peso aproximado de 11.75 kg, mientras que la misma fase para macromoléculas finalizó a los 44, 95.6, 51.33 y 54.71 días, para agua, lípidos, proteína y cenizas, respectivamente. La tasa absoluta de crecimiento a los 100 kg fue de 700 g para la ganancia de peso de la canal y ganancias composicionales relativas de 46.1 % para agua, 38 % para lípidos, 15 % para proteína y 2.7 % para ceniza.

Los días requeridos para lograr un grado de madurez del 50 % fueron de 182 para el peso de la canal, 166 para el agua, 214 para los lípidos, 165 para la proteína y 198 para la ceniza. El tiempo de crecimiento desde el nacimiento hasta el 98 % de la madurez fue estimado en 509 días para el peso de canal y en 481, 521, 459 y 570 días, para, agua, lípidos, proteína y cenizas, respectivamente. La dinámica del crecimiento de los componentes químicos de la canal y el peso total de la misma, estimada con los parámetros obtenidos con el modelo de Gompertz, se muestra en la figura 2.

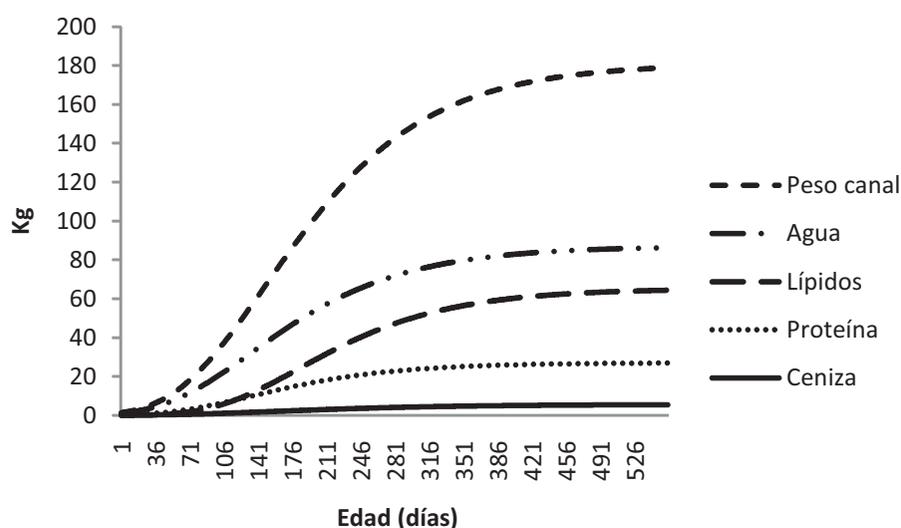


Figura 2. Curvas obtenidas de la parametrización del Modelo de Gompertz para el peso de la canal y sus componentes químicos en cerdos castrados.

Discusión

La parametrización de los coeficientes del modelo de Gompertz, para peso corporal y peso de la canal, suministra una información muy valiosa, ya que permite estimar las ganancias diarias para cada una de las variables evaluadas, incluyendo la dinámica de macromoléculas en torno a su expresión con la edad. Existen numerosos estudios que señalan la relación de peso corporal y de componentes individuales en el tiempo bajo una forma sigmoide, que se ajusta a las propiedades del modelo de Gompertz (Fowler, 1968; Vangen, 1977; Whittemore, 1988).

El modelo de Gompertz aplicado a los datos de crecimiento de cerdos machos castrados

en condiciones comerciales, muestra que sus parámetros tienen un sentido y sensibilidad biológica y pueden ser interpretados por la madurez al 50% y el peso adulto, los cuales sirven directamente para estimar la influencia de factores ambientales, que retardan o aceleran el crecimiento o modifican el peso adulto. En este sentido, Emmans (1988) describe una tendencia sigmoide para la acreción de proteína en el tiempo, similar a la observada para el peso corporal y en la que el punto de inflexión se presenta en un periodo temprano de la madurez (36.8% del peso adulto). Lo anterior, permite que la tasa de acreción de proteína sea más lenta en la fase descendente comparada con la fase ascendente, lo cual ha sido observado en diferentes investigaciones (Tullis, 1981 y Black *et al.*, 1986).

En general se encontró que los valores de edad y peso al punto de inflexión fueron similares para la mayoría de las variables medidas en el peso corporal y el peso de la canal. Sin embargo, en los valores calculados para proteína en la canal se observó que la edad al punto de inflexión fue mayor en la canal y el peso fue menor, lo cual puede estar asociado al efecto de la composición de las fracciones de vísceras en el peso corporal total (Halas *et al.*, 2003).

Fergusson y Kyriazis (2003), reportaron pesos adultos mayores a los encontrados en este estudio, para proteína (33.6 y 45.6), agua (109 a 134.6) y ceniza (7.6 a 10.5), estas diferencias pueden explicarse por el número de sacrificios realizados en que cada estudio y las edades de los mismos. En el caso de los lípidos los valores obtenidos se encuentran en el rango reportado por estos autores (55.3 a 94.5), mientras que los valores de la tasa de maduración (c) para todos los componentes fueron similares.

Las tasas máximas de retención de proteína fueron más tempranas que las del peso total en canal y peso corporal. En este sentido, Van Lunen y Cole (1998), reportaron que a edades entre 105 y 110 días de edad se obtuvieron pesos de 70.8 kg. y Siebrits *et al.*, (1986), encontraron tasas de retención de 156 g. de proteína por día a los 60 y 70 kg de peso corporal. Los hallazgos del presente estudio sitúan las tasas de retención en 129 g/día, es decir, un 17.3 % inferior a los hallazgos con líneas genéticas mejoradas Dornenbal (1971), reporta tasas de retención de proteína en machos castrados de 73.8 g/día, las cuales son inferiores en un 57.8 % a las obtenidas en este estudio. Kielanowsky y Kotarbinska (1970), mostraron resultados similares, mientras que Whittemore *et al.*, (1988) reportaron tasas de ganancia al punto de inflexión de 155 g/día. Gomez, et al., 2002, encontraron tasas de acreción de proteína entre 83 y 110 g/d y de lípidos de 125 a 173 g/d en cerdos sacrificados a los 82 kg de peso. Con lo anterior se muestra que el potencial de retención de proteína se ha incrementado con la selección genética y que factores reportados en la literatura asociados a la edad y la técnica de medición pueden influenciar los resultados. (de Greef *et al.*, 1994).

El análisis del modelo en torno a la madurez reflejó el ímpetu de la fase ascendente y la parsimonia de la fase descendente. De otra parte, los procesos de valoración de dinámica de macromoléculas muestran que el parámetro tasa de maduración c no es diferente para las fracciones lípidos y proteína (Andersen y Pedersen, 1996 y Knap, 2000). Sin embargo, estos estudios fijan el parámetro para las dos fracciones para poder atender el requerimiento alométrico de la relación lípidos proteína descrita por Emmans (1988). En este estudio aunque se caracteriza la expresión de una línea genética en condiciones comerciales de producción, los parámetros estimados para las macromoléculas fueron bastante cercanos (0.0114 vs. 0.0125).

Los valores observados para peso adulto, tasa de maduración, tasas máxima de peso corporal y peso de la macromolécula proteína, localiza grupo de animales analizado con expresiones productivas de genotipos utilizados en 1975, de acuerdo con la tendencia de los parámetros de Gompertz, descritas por Knap (2000). Sin embargo, el uso de la función de Gompertz y otras familias de funciones no lineales sigmoidales, producen un sesgo estructural importante en el valor del asíntota que limita el ajuste a los valores observados ya que este es forzado a acomodarse a un valor fijo en la coordenada Y como una proporción de la asíntota a nivel del punto de inflexión (Casas, 2007).

El peso y la edad al 98% de madurez estimado con la parametrización del modelo de Gompertz, fueron de 222.7 kg y 505 días para cuerpo total y de 181 kg y 509.41 días, para la canal. Los días requeridos para lograr un grado de madurez del 50% fueron de 181 y 182 días para el peso corporal y de la canal respectivamente.

Así mismo se estimó que la tasa máxima de retención de proteína corporal se obtiene a los 63 kg de peso corporal y a los 57 kg de peso de la canal. La tasa absoluta de crecimiento a los 100 kg de peso corporal fue 872 g/día para ganancia de peso corporal, mientras que para la canal este valor es fue de 700 g/día. La fase de estructuración finalizó a los 56 días con un 15 kga de peso corporal y a los 55.5 días con un peso aproximado de 11.75 kg en la canal

De acuerdo con la parametrización obtenida, las tasas máximas de retención de proteína se presentaron a una edad más temprana en relación con el peso corporal y el peso de la canal, mientras que la retención máxima de lípidos fue más tardía. Este comportamiento es compatible con rendimientos de líneas genética no mejoradas o afectadas por factores asociados al sistema de alimentación, el ambiente o el estado sanitario.

La información obtenida mediante la parametrización del modelo Gompertz es una

herramienta para entender y predecir los patrones de crecimiento de una línea genética, bajo unas condiciones determinadas de producción

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo para la realización de la presente investigación al personal del Centro Agropecuario Marengo, del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) y a la División de Investigación de la Sede Bogotá.

Referencias

- Andersen S, Pedersen B. Growth and food intake curves for group housed gilts and castrated male pigs. *Anim Sci* 1996; 63:457-464.
- AOAC. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Arlington. VA; 2000.
- Black JL, Campbell RG, Williams IH, James KJ, Davies GT. Simulation of energy and amino acid utilization in the pig. *Res Develop Agric* 1986; 3:121-145.
- Casas GA. Caracterización del crecimiento y la composición corporal de cerdos en condiciones comerciales en el trópico alto colombiano. Tesis Msc. Departamento de Ciencias para la Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia 2007;199pp.
- De Greef KH, Verstegen MWA, Kemp B, Van Der Togt PL. The effect the body weight and energy intake on the composition of deposited tissue in pigs. *Anim Prod* 1994; 58:263-270.
- Doornenbal H. Growth, development and chemical composition of the pig: (1) Lean tissue and protein. *Growth* 1971; 35:281-29.
- Devlierghe F, Francois K, Vermeulen A and Debevere J. Predictive microbiology, Chapter 3. In: Costa R and Kristbergsson K editors. Predictive modeling and Risk assessment, Springer; 2008. p 29-60.
- Emmans G.C. Genetics components of potential and actual growth. In: Land R. B. Bulfield, G. and Hill W. G. editors. Animal Breeding opportunities. British Society of Animal Production Occasional Publication 12; 1988. p.153-181.
- Ferguson NS and Kyriazis ST. Evaluation of the growth parameters of six commercial crossbreed pig genotypes 1. Under commercial housing condition in individual pens. *S Afr J Anim Sci*; 33:11-20.
- Ferguson NS, Gous RM. Evaluation of pig genotypes: (1) theoretical aspects of measuring genetic parameters. *Anim Prod* 1993; 56:233-243.
- Fowler VR. Body development and some problems of its evaluation, In: Lodge GA and Lamming GE, editors. Growth and development of mammals. Butterworths, London; 1968. p.195-211.
- Frace J, Thornley JMH. Mathematical Models in Agriculture. London Butterworths; 1984.
- Gómez RS, Lewis AJ, Miller PS, Chen HY and Diedrichsen RM. Body composition and tissue accretion rates of barrows feed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels. *J Anim Sci* 2002; 80:654-662.
- Halas V, Babinszky L and Verstegen MWA, Conceptual paper for modelling protein and lipid accretion in different parts of growing and fattening pigs: a review. *Arch Anim Nutr* 2003; 57:137150.
- Lawrence TLJ and Fowler VR. Prenatal and postnatal growth Lawrence TLJ and Fowler VR editors. Growth of farm animals, 2nd editions, CAB *International*; 2002. p 347.
- Karkach A. Trajectories and models of individual growth. *Demogr Res* 2006; 15:347-400.
- Kielonowsky J, Kotarbinska T. Further studies on energy metabolism in the pig. In: Schurch A and Wenk C. Energy metabolism of farm animals. Juris Druck Verlag, Zurich, Switzerland; 1970.p.145-148.
- Knap PW. Time trends of Gompertz growth parameters in meat-type pigs. *Anim Sci* 2000; 70:39-49.
- Roush W. Advancements in empirical models for prediction and prescription. I Curso Internacional de Modelagem na Nutricao e Producao Avicola 3 à 6 de abril Maringa, Brasil. 2006.
- SAS user's guide: statistics, version 8.02 edition. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina; 2002.
- Siebrits FK, Kemm EH, Ras MN, Barnes PM. Protein deposition in pigs as influenced by sex, type and live mass. 1. The pattern and composition of protein deposition. *S Afr J Anim Sci* 1986; 16:23-27.

- Tedeschi O. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agric Syst* 2006;89:225-247.
- Tullis JB. Protein growth in pigs. PhD. Thesis University of Edinburgh.1981.
- Turner MEJR, Bradley ELJR, Kirk KA, Pruitt KMA. Theory of growth. *Math Biosci* 1976; 29:367-373.
- Van Lunen TA, Cole DJA. Growth and body composition of highly selected boars and gilts. *Anim Sci* 1998; 67:107-106.
- Vangen O. Studies on a two trait selection experiment in pigs. 1 Growth, feed conversion ratio after 10 years of selection for growth rate and backfat thickness. *Acta Agr Scand* 1977; 27:331-340.
- Whittemore CT, Tullis JB, Emmans GC. Protein growth in pigs. *Anim Prod* 1988; 46:437-445.
- Winsor CP. The Gompertz curve as a growth curve. *Proc Natl Acad Sci* 1932; 18:1-7.