

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS



**MODELOS NO LINEALES EN LA DESCRIPCIÓN DEL CRECIMIENTO EN
CERDOS**

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS VETERINARIAS

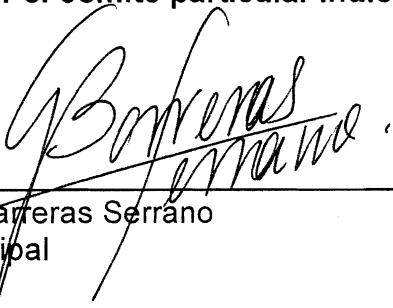
PRESENTA:

ANDREA RODRÍGUEZ TREJO

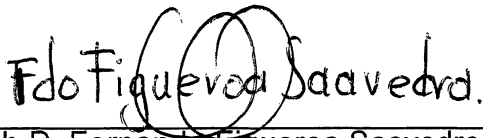
MEXICALI B.C; MEXICO

FEBRERO 2010

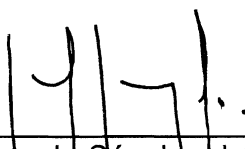
Modelos no Lineales en la Descripción del Crecimiento en Cerdos. Tesis presentada por Andrea Rodríguez Trejo como requisito parcial para obtener el Grado de Maestro en Ciencias Veterinarias, que ha sido aprobada por el comité particular indicado:



Dr. Alberto Barreras Serrano
Director principal



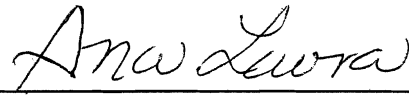
Ph.D. Fernando Figueroa Saavedra
Asesor



Dr. Eduardo Sánchez López
Asesor



Ph.D. Cristina Pérez Linares
Asesor



M.C. Ana Laura Kinejara Espinoza
Asesor

Mexicali, Baja California
Lugar y Fecha

11 de Febrero de 2010

RESUMEN

Modelos no lineales en la descripción del crecimiento en cerdos

Con el objetivo de describir el crecimiento en cerdos, seis funciones no lineales con tres parámetros fueron ajustadas a las series de peso por edad. Registros generados a las etapas de nacimiento, destete, crecimiento, desarrollo y engorda de un total de 800 animales fueron incluidos. El estudio se llevó a cabo en una explotación intensiva de cerdos en Mexicali B.C. En donde se incluyeron las variables de clasificación: sexo (hembras y machos), genotipo (animales puros y cruza) y estación del año (verano e invierno). La estimación de los parámetros se llevó a cabo utilizando el procedimiento no lineal mixto (NLMIXED) del SAS. Los modelos fueron evaluados de aplicar los criterios de Akaike (AIC), Bayesiano (BIC), el coeficiente de determinación, cuadrado medio del residual, y análisis de residuales. Todos los modelos ajustaron bien a los datos, sin embargo las funciones Gompertz ver-1 y logístico fueron las más indicadas para describir el crecimiento de los cerdos. Además, el modelo de Bertalanffy mostró mejor ajuste para cada uno de las clases de sexo, genotipo y época de nacimiento. Se concluye que la modelación del crecimiento es una herramienta útil para la optimización en los sistemas de producción de cerdos, además de que podrían ser utilizados en programas de mejoramiento.

Palabras clave: modelos no-lineales, curvas de crecimiento, cerdos.

ABSTRACT

Nonlinear models to describe growth data in pigs

In order to describe the growth in pigs, six non-linear functions with three parameters were used to fit longitudinal growth measurement on each group of pigs. Serial live weight data from 800 pigs taken at the following stages: birth, weaning, growth, development and fattening were included. The study was carried out in an intensive pig farm in the municipality of Mexicali, BC. The classification criterion in each group was: gender (male and female), genotype (purebred and crossbreed) and season (summer and winter). Parameter estimation was performed using the non-linear mixed (NLMIXED) procedure of SAS. The models were evaluated based on the Akaike's Information Criteria (AIC), Bayesian criteria (BIC), determination coefficient, residual mean square, and residuals analysis. All the models adjusted well to the data, but Gompertz ver-1 and Logistic models were they more indicated to describe the growth of the pigs. Besides, Bertalanffy model showed better fit for each one of gender, genotype, and birth season class. It is concludes that the growth modeling is a useful tool for optimizing pig production systems and they could be used in improvement programs.

Key words: non-linear models, growth curves, pigs.

CONTENIDO

	Pág
RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
LISTA DE CUADROS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Crecimiento y su importancia.....	3
Tipos de crecimiento.....	3
Factores que afectan el crecimiento.....	4
<i>Nutrición.....</i>	4
<i>Grupo Genético.....</i>	6
<i>Sexo.....</i>	7
<i>Medio ambiente.....</i>	9
Comportamiento del crecimiento.....	9
Funciones de crecimiento.....	17
Modelos de crecimiento.....	18
Modelos.....	21
<i>Modelo de Gompertz.....</i>	21
<i>Modelo Gompertz 2.....</i>	21
<i>Modelo de Bertalanffy.....</i>	22
<i>Modelo Logístico.....</i>	22

<i>Modelo Logístico 2</i>	23
<i>Modelo Logístico 3</i>	23
Evaluación de modelos.....	25
Criterios de selección para evaluar la capacidad de ajuste de los modelos.....	26
<i>Cuadrados medios del residuo (CMR)</i>	26
<i>Criterio de información de Akaike (AIC)</i>	27
<i>Criterio de información bayesiano (BIC)</i>	28
<i>Coefficiente de determinación (R^2)</i>	28
<i>Análisis de residuales</i>	29
MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
Localización.....	31
Animales.....	31
Metodología.....	31
Análisis estadístico.....	32
RESULTADOS Y DISCUSION.....	34
Análisis de residuales.....	41
Variación de los modelos por grupo genético.....	44
<i>Animales puros</i>	44
<i>Animales cruzados</i>	47
Variación de los modelos por sexo.....	51
<i>Hembras</i>	51

<i>Machos</i>	54
Variación de los modelos por época del año.....	59
<i>Invierno</i>	59
<i>Verano</i>	63
CONCLUSIONES.....	68
LITERATURA CITADA.....	69

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Pág
1	Descripción matemática de las funciones de crecimiento no-lineal con tres parámetros	33
2	Estimación de los parámetros de las funciones de crecimiento en general, en cerdos.....	39
3	Estimación de los parámetros de las funciones de crecimiento para animales puros, en cerdos.....	46
4	Estimación de los parámetros de las funciones de crecimiento para animales cruzados, en cerdos	49
5	Estimación de los parámetros de las funciones de crecimiento para animales hembras, en cerdos	53
6	Estimación de los parámetros de las funciones de crecimiento para animales machos, en cerdos	57
7	Estimación de los parámetros de las funciones de crecimiento para animales en época de invierno, en cerdos	62
8	Estimación de los parámetros de las funciones de crecimiento para animales en época de verano, en cerdos	66

LISTA DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Curva típica de crecimiento.....	11
2	Descripción del crecimiento desde la concepción hasta madurez	13
3	Relación peso y longitud del cuerpo con la edad, en fetos porcinos	16
4	Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Gompertz ver-1.....	35
5	Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Gompertz ver-2.....	36
6	Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Logístico ver- 1.....	38
7	Crecimiento medio observado y predicho de aplicar los modelos A) Bertalanffy, B) Logístico ver- 2 y C) Logístico ver- 3.....	42
8	Comportamiento de los residuales de los modelos: A) Gompertz, ver-1, B) Gompertz ver-2, C) Bertalanffy.....	43
9	Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Bertalanffy para animales puros.....	45
10	Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Bertalanffy para animales cruzados.....	48
11	Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Bertalanffy para hembras.....	52
12	Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Gompertz ver- 1 para machos.....	55
13	Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Gompertz ver- 2 para machos.....	56
14	Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Bertalanffy para machos.....	56

15	Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Gompertz ver- 2 para la época de invierno.....	60
16	Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Logístico ver- 1 para la época de invierno.....	61
17	Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Logístico ver- 2 para la época de invierno.....	61
18	Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Gompertz ver- 1 para la época de verano.....	64
19	Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Bertalanffy para la época de verano.....	65
20	Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Logístico ver- 3 para la época de verano.....	65

INTRODUCCIÓN

El término crecimiento aplicado a la producción animal es considerado generalmente como el incremento en el peso corporal. Sin embargo el aumento en el peso corporal asociado al crecimiento consiste en el incremento sistemático de la mayoría de los componentes químicos del organismo (grasa, proteína y componentes minerales). Las diferencias en el índice de incremento de cada componente dan como resultado los cambios en la composición corporal (Mc Glone y Pond, 2002).

El crecimiento animal es un aspecto importante al momento de evaluar la productividad en las explotaciones dedicadas a la producción de carne y generalmente es usado como criterio de selección, sin embargo, debe considerarse que el crecimiento no se debe exclusivamente a factores genéticos sino también a efectos ambientales (Agudelo-Gómez et al., 2008).

El crecimiento animal puede ser descrito por medio de funciones matemáticas que predicen el desempeño de la evolución del peso vivo, dichas funciones permiten realizar evaluaciones sobre el nivel de producción en las empresas ganaderas, pudiendo clasificar de forma sencilla la productividad de una raza específica para una zona determinada. También permiten calcular los valores máximos del crecimiento, pudiendo determinar las edades de sacrificio que permitan obtener el máximo beneficio económico. Además, proveen información que permite realizar programaciones de alimentación, de

capacidad de carga y medir cambios genéticos. Para medir el crecimiento se han utilizado diferentes modelos matemáticos lineales y no lineales, seleccionándolos por su bondad de ajuste y la facilidad de interpretación biológica de sus parámetros (Agudelo-Gómez et al., 2008).

En base a lo anterior el objetivo de este trabajo es evaluar diferentes modelos no lineales por ajuste en la descripción del crecimiento en cerdos.

REVISIÓN DE LITERATURA

Crecimiento y su importancia

Crecimiento se define como la combinación de hiperplasia (incremento del número de células) e hipertrofia (incremento del tamaño de las células), lo cual induce el desarrollo volumétrico y a cambios químicos. Además, al hablar de crecimiento se deben considerar al menos dos aspectos: 1) el incremento total en la masa corporal en función del tiempo y 2) los cambios en la forma o composición de las diferentes partes del cuerpo (Robison, 1974). El estudio del crecimiento animal integra aspectos de nutrición, genética, fisiología y ciencia de la carne (Trenkle y Marple, 1983).

Todos los animales poseen un límite de su peso corporal que alcanzan en el momento de su máximo desarrollo o madurez. El crecimiento es el esfuerzo del animal para alcanzar este objetivo (Whittemor y Elsley, 1978).

Tipos de crecimiento

El crecimiento es separado generalmente en dos tipos: Cronológico y fisiológico. El crecimiento cronológico se refiere al incremento en el tamaño o función corporal debido al aumento de la edad del animal (Bogart, 1983).

El crecimiento fisiológico se refiere al incremento del tamaño o función corporal debido al incremento de tejidos y al desarrollo de órganos. Las funciones corporales en una especie pueden estar relacionadas mas al crecimiento fisiológico mientras que en otra especie estar más relacionadas al crecimiento cronológico (Bogart, 1983).

Factores que afectan el crecimiento

Wiseman (2006) menciona que el crecimiento es un sistema complejo y dinámico donde influyen varios factores como nutrición, grupo genético, medio ambiente y sexo.

Nutrición: Goerl et al. (1995) y Bikker et al. (1996) mencionaron la importancia de la nutrición como un factor determinante en el crecimiento y deposición de grasa. Campadabal (1992) menciona que la alimentación de los cerdos para abasto comprende la etapa de destete, desarrollo y engorda. El programa de alimentación al que sean sometidos tendrá un efecto determinante en el tiempo en el que el cerdo alcance el peso al sacrificio. Es recomendable que el cerdo presente una ganancia de peso del nacimiento al sacrificio mayor a 600 gr por día, para que alcance los 100 kg de peso entre los 160 y 165 días de edad.

El programa de alimentación de los lechones empieza desde los 10 a 12 días de nacidos con la introducción de pequeñas cantidades (50 a 100 gr) de alimento en las jaulas de maternidad para adaptarlos a una

alimentación sólida al momento del destete. Cuando el destete se realiza a los 21 días, se debe esperar un peso al destete de alrededor de 6 kg; mientras que cuando el destete es a los 28 días, el peso deberá ser de alrededor de 8 kg. Un factor importante en la alimentación de los lechones es el consumo de alimento. Es necesario que el lechón consuma la mayor cantidad posible de alimento para obtener la mayor ganancia posible de peso (Campabadal, 1992).

El período de desarrollo y engorda del cerdo es una de las etapas más importantes de la vida productiva del animal, pues es cuando se consume entre el 75 y el 80% del total del alimento necesario. Siendo este rubro el principal costo de producción, la utilización eficiente del alimento repercutirá en la rentabilidad de la producción. Este periodo ocurre desde que el animal peso alrededor de 20 kg y termina cuando es sacrificado. La duración de la etapa de desarrollo es de unos 30 días; mientras que la de engorda varía de 50 a 60 días. Esto varía dependiendo del peso final al sacrificio. Es necesario considerar que en la etapa de crecimiento en donde existe una mayor síntesis de tejido magro y en finalización donde prevalece la deposición de grasa, por lo que las dietas deben ser balanceadas de acuerdo a cada etapa para obtener una conversión de alimento eficiente. El sistema más común de alimentación para cerdos en desarrollo y engorda es *ad libitum*. Esto involucra menor uso de mano de obra. Sin embargo un aspecto negativo de este método es la deposición de un mayor tejido graso cuando existe sobreconsumo. Esto puede regularse alimentando *ad libitum*

hasta que los cerdos pesan 60 kg y después se restringe entre un 75 a 80% del consumo total (Campabadal, 1992).

Baker (1997) propuso que para conseguir un crecimiento óptimo el contenido de proteína en la dieta debe de ser balanceado para los aminoácidos esenciales y no esenciales.

La energía como un nutriente en la alimentación es determinada por la composición de carbohidratos y de la grasa en la dieta. Es el contenido de la dieta lo que controla el consumo diario en los cerdos en crecimiento-finalización. Pero la variación en el consumo de alimento puede ser influenciada por factores ambientales como la edad, grupo genético, temperatura, actividad física, interacción social, el tipo de dieta, y el estado de salud del animal (Wagner et al., 1999). El consumo de energía está fuertemente asociado con la deposición de proteína y grasa, con el contenido de proteína en la dieta ajustada a medida de que la densidad de energía cambia (Chiba et al., 1991).

Grupo genético: el componente genético tiene influencia en el potencial del animal para un crecimiento magro (Quinou y Noblet 1995; Wagner et al., 1999). Así mismo han demostrado que los parámetros de crecimiento entre grupos genéticos varían. El genotipo de un animal determina el nivel máximo en el que pueden ocurrir estos procesos, mientras que los factores ambientales tales como, nutrición, temperatura ambiente, jerarquía social y densidad en el corral determinan el grado de

cual potencial genético es expresado. De esta manera, para evaluar e implementar las estrategias genéticas y de manejo que potencialmente aumentarían el crecimiento de los cerdos, es esencial un entendimiento de la relación entre el genotipo de los animales y los factores ambientales (Schinckel y Einstein, 1995).

Sexo: los efectos del género en el crecimiento de animales para abasto es diferente entre especies cuando se evalúa el contenido de grasa de las canales y el contenido de carne magra. En los cerdos se observa que los machos depositan más grasa que las hembras aún a un mismo peso. Las diferencias en la deposición de grasa y músculo entre sexos en el ganado porcino aún no están completamente entendidas. Una posible explicación para estas diferencias es que los cerdos no expresan diferenciación sexual sino hasta la pubertad (Wiseman, 2006).

Según Ciriás y Garces (1996) se pueden presentar tres tipos de animales en lo relativo al sexo: machos enteros, machos castrados y hembras, presentando diferencias importantes entre ellos, en cuanto a consumo de alimento, velocidad de crecimiento, depósito de grasa y eficiencia de conversión. Los machos enteros según presentan una mejora del 10 % en la ganancia diaria de peso respecto a los castrados, en los cuales la velocidad de crecimiento será máxima entre los 70 kg y 90 kg, a partir de los cuales comienza a descender (Hansson, 1974).

Estevez (2001) publica que los machos castrados poseen mayor capacidad para convertir el alimento en musculo, por la acción de las hormonas masculinas en el macho entero puesto que estas bloquean la acción de la hormona somatotrópica del crecimiento. Sin embargo, Cirias y Garces (1996), mencionan que los machos enteros poseen una mayor conversión que las hembras las cuales a su vez resultaron ser más eficientes que los machos castrados, esto debido al efecto de los esteroides testiculares. Así mismo, Cancellon (1991) plantea que los testículos de los cerdos segregan estrógenos y andrógenos que actúan sinérgicamente; de manera que los andrógenos estimulan el apetito, disminuyen la proporción de grasa dorsal y favorecen la retención de nitrógeno en el musculo, así mismo los estrógenos aumentan la ganancia de peso y conversión alimenticia. Por lo tanto, los depósitos de grasa en machos enteros son mejores que en machos castrados y en ambos grupos aumenta con mayores pesos de sacrificios (Cirias y Garces, 1996). En relación con el largo de la canal no hay diferencias significativas a la hora de usar machos enteros y castrados (Wodd y Riley, 1982).

Se han llevado a cabo diversos estudios sobre los efectos de los grupos genéticos y nutrición sobre la deposición de grasa, pero el énfasis en la selección genética para un crecimiento magro ha demostrado alterar la distribución de la grasa en el cerdo, la cual tiene gran influencia en la reducción de la grasa dorsal subcutánea comparada con la deposición inter e intramuscular (Kouba et al., 1999).

Medio ambiente: para los cerdos en crecimiento-finalización debe existir una óptima condición ambiental física y social. Se ha reportado que el comportamiento social está relacionado al desempeño en el crecimiento de los animales. De cualquier forma, cuando las condiciones físicas son mejoradas, el rango social entre grupos de cerdos parece disminuir. Cuando el espacio físico es incrementado no hay diferencias en agresión o rango social dominante lo cual no parece tener ninguna influencia en el comportamiento alimenticio o en el desarrollo de los animales. Las enfermedades en el ambiente de los animales pueden contribuir también a retrasar el crecimiento. Una enfermedad aguda o crónica afectara en crecimiento principalmente por la disminución del consumo de alimento, lo cual reduce la deposición de proteína en los animales (Nielson et al., 1995).

Flores y Agraz (1987) mencionaron que la temperatura ambiental óptima para los cerdos varía entre los 14 y 22°C, dependiendo de la edad de los animales; siendo de 22 a 25°C para los lechones desde su nacimiento hasta las 4 semanas; de 18 a 20°C para los de destete; de 15 a 17°C para cerdos reproductores adultos, de 17 a 18°C para las marranas de cría y 17°C para los cerdos en engorda.

Comportamiento del crecimiento

Kusec et al. (2006), mencionaron que el crecimiento es un problema complejo que ha sido estudiado desde varios enfoques, los más comunes son el crecimiento temporal (incremento del tamaño corporal por unidad de

tiempo) y el crecimiento diferencial (morfogénesis, formación de nuevas estructuras y cambio de proporción de los componentes del cuerpo).

El crecimiento temporal utiliza funciones que tienen una forma de "S", estas son una buena herramienta para superar las limitaciones de los modelos lineales (Kusec et al., 2006). El crecimiento diferencial es extensamente utilizado en la investigación del ganado porcino, este consiste en la definición de un modelo matemático en el cual las proporciones de un animal están determinadas por el peso total. Este enfoque es de utilidad en la investigación del desarrollo relativo de musculo, grasa y hueso en diferentes tipos de cerdos (Gu et al., 1992). Así mismo, Acker (1983) menciona que el crecimiento se comporta como una línea curva independiente de cómo se representa matemáticamente. El crecimiento en función del incremento en la masa (peso), puede ser representado en forma de S, con ritmo lento, acelerando a un ritmo más rápido y después disminuye considerablemente, como se puede apreciar en la Figura 1. La descripción matemática más sencilla para el crecimiento tomándolo como un incremento en el peso a través del tiempo es:

$$\text{Crecimiento} = \frac{W}{t} \quad \text{donde } W = \text{peso y } t = \text{tiempo}$$

El crecimiento puede ser descrito matemáticamente con funciones que incluyen parámetros con interpretación biológica. Estos parámetros pueden ser descritos por modelos de crecimiento, contrastando el peso corporal contra la edad, generando una curva asintótica tipo sigmoidea (McKay, 1994).

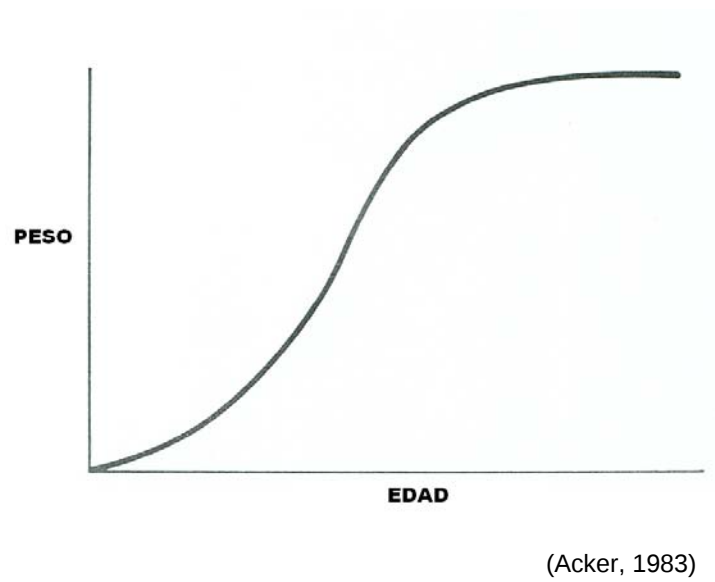


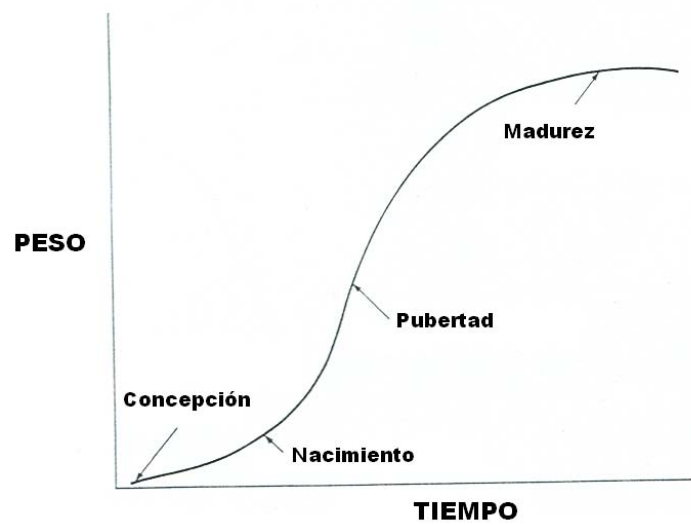
Figura 1. Curva típica de crecimiento

Los cerdos tienen un gran potencial de crecimiento, ya que aumentan desde un peso al nacimiento de 1.5 kg hasta 100 kg en menos de 6 meses (Solanes y Stern, 2001).

(Acker, 1983) menciona que la curva de crecimiento respecto a la edad o el trazo del peso contra el tiempo, es la manera más común de representar el crecimiento. La forma de S es similar para todas las especies de ganado y representa el proceso continuo de crecimiento y desarrollo desde el nacimiento hasta la madurez.

La Figura 2, muestra la tasa de crecimiento es representada por la curva a cualquier edad y es mucho más rápida en el punto de inflexión de la curva que justo después del nacimiento e inclusive antes de la madurez (Acker, 1983).

Malhado et al. (2008), mencionaron que existen varias posibilidades de aplicación de las curvas de crecimiento en la producción animal: a) resumir en tres o cuatro parámetros, las características de producción, pues algunos parámetros de los modelos no lineales utilizados poseen interpretación biológica; b) evaluar el perfil de respuesta de tratamiento a lo largo del tiempo; c) estudiar interacciones de respuestas de las subpoblaciones o tratamientos con el tiempo; d) identificar en una población los animales más pesados en edades más jóvenes; e) obtener la varianza entre y dentro de individuos de gran interés general en los estudios de curvas de crecimiento.



(Bogart, 1983)

Figura 2. Descripción del crecimiento desde la concepción hasta la madurez.

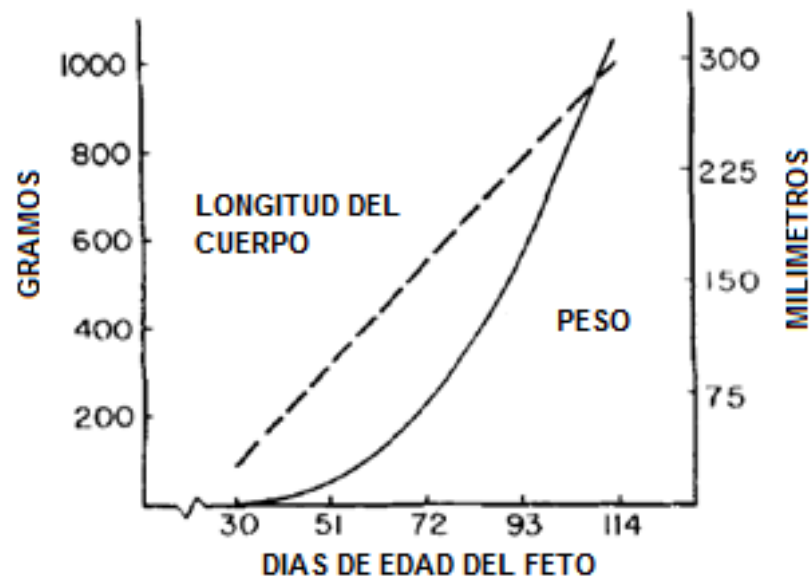
Whittemore (1986) mencionó que el estudio del crecimiento en cerdos se agrupa en tres categorías: prenatal, nacimiento a destete y destete a sacrificio. Considerar el crecimiento en animales adultos no es común debido a que raramente se registran estos pesos. El crecimiento animal inicia en la etapa prenatal con la fecundación del óvulo y termina cuando el organismo alcanza el peso adulto y la conformación propia de la especie, se presenta un aumento cuantitativo de la masa corporal que se define como la ganancia de peso por unidad de tiempo. El aumento de peso se produce por tres causas: hiperplasia (multiplicación celular); hipertrofia (aumento del tamaño de las células) y metaplasma (transformación de las células). Por lo tanto, el crecimiento animal es una respuesta celular a diferentes factores que pueden ser propios del animal o ajenos a éste. Si el proceso de crecimiento no tiene ningún factor inhibidor, normalmente el organismo sigue un mecanismo de multiplicación constante de las células, y una vez producida la multiplicación suficiente se produce la hipertrofia. Sin embargo, es posible que aparezcan factores inhibidores que detengan el proceso de hiperplasia y así el crecimiento se anula. Si bien los diferentes sistemas se desarrollan en forma paralela, la velocidad a la que lo hacen es distinta, existiendo un orden estricto para su desarrollo; el primero en terminar el desarrollo es el nervioso, seguido del esqueleto, luego los músculos y por último se realiza la acumulación de tejido adiposo (Agudelo-Gómez et al., 2008).

El crecimiento prenatal es el incremento en el peso desde la concepción hasta el nacimiento (Robison, 1974). Esta es una etapa crítica

debido a que los eventos en este periodo influyen en el crecimiento, desarrollo y vida productiva subsecuente del animal. Debido a que la multiplicación y diferenciación celular ocurren durante esta fase para formar tejidos y órganos (Mc Glone y Pond., 2002). Las curvas de crecimiento para fetos de cerdo están representadas en la Figura 3. La cual muestra medias de los valores de largo del cuerpo y peso a los 51, 72, 93 y 114 días de gestación. Generalmente las medidas del esqueleto y el largo del cuerpo exhiben una relación lineal con la edad. Sin embargo, los tejidos blandos y el peso corporal, incrementan de manera curvilínea con la edad (Robison, 1974).

El crecimiento predestete ocurre desde el nacimiento hasta el destete. El crecimiento y desarrollo del cerdo del nacimiento al destete es la continuación del periodo prenatal, pero durante esta fase se caracteriza por tener un crecimiento más acelerado debido en su mayoría al aumento de musculo y grasa (Mc Glone y Pond., 2002).

El crecimiento postdestete cubre desde el destete hasta el sacrificio. Durante este período el animal continua incrementando de tamaño, pero la tasa de crecimiento declina conforme se acerca la madurez. La tasa de crecimiento temprana en esta fase esta significativamente influenciada por el manejo que el animal recibió durante el predestete. La tasa de crecimiento tardía en el postdestete es más dependiente del potencial genético, sexo, alimentación y medio ambiente (Acker, 1983).



(Robison, 1974)

Figura 3. Relación peso y longitud del cuerpo con la edad, en fetos porcinos.

Las curvas de crecimiento reflejan las interrelaciones entre el impulso de crecimiento individual, todas las partes del cuerpo y el medio en el cual estos impulsos son expresados (Fitzhugh, 1976).

El crecimiento del cerdo se comporta de acuerdo a una curva de crecimiento. La cual tiene un inicio lento, una fase exponencial y después una fase de máxima respuesta. Las partes del cuerpo también crecen de una forma no lineal. Durante el crecimiento, los animales incrementan su tamaño en musculo, grasa y hueso. Este puede ser diferencial puesto que si el musculo crece más que la grasa, dichos animales han incrementado una ganancia magra (McGlone y Pond, 2002).

El desconocimiento de las curvas de crecimiento ha limitado la implementación de programas de mejoramiento zootécnico que permitan aumentar la productividad, como lo son la velocidad de crecimiento, la tasa de madurez a diferentes edades y la edad al sacrificio. Estos factores se pueden analizar con base en la información zootécnica de los animales siendo indispensable para ello contar con registros de producción (Agudelo-Gómez et al., 2008).

Funciones de crecimiento

Las funciones de crecimiento han sido utilizadas para describir el incremento en el peso desde el nacimiento en función del tiempo. Una de las razones para generar curvas de crecimiento es tener la habilidad de

predecir correctamente el tiempo en el que los cerdos estarán listos para ser llevados al rastro. Una función de crecimiento debe describir correctamente y contener parámetros biológicamente y físicamente significativos. Estas funciones pueden ser agrupadas en tres categorías: Aquellas que representan comportamiento decreciente, las de comportamiento sigmoideal con un punto de inflexión arreglado y aquellas que rodean el comportamiento sigmoideal. Las funciones flexibles son a menudo modelos generalizados que rodean modelos simples para valores particulares para ciertos parámetros adicionales (Kebreab et al., 2007).

Modelos de crecimiento

Agudelo-Gómez (2008) mencionó que el crecimiento animal puede ser descrito por medio de funciones matemáticas que predicen el desempeño de la evolución del peso vivo, dichas funciones permiten realizar evaluaciones sobre el nivel de producción en las empresas ganaderas, pudiendo clasificar de forma sencilla la productividad de una raza específica para una zona determinada. También permiten calcular los valores máximos del crecimiento, pudiendo determinar las edades de sacrificio que permitan obtener el máximo beneficio económico. Además, proveen información que permite realizar programaciones de alimentación, de capacidad de carga y medir cambios genéticos de una generación a otra que estén relacionados con el nivel de producción.

La información de los modelos de crecimiento se utiliza por dos razones principales. La primera es para estudiar y determinar los requerimientos nutricionales en situaciones comerciales de producción actual. La segunda es para examinar la rentabilidad de varios regímenes de alimentación o estimar el peso óptimo al sacrificio (Goodband et al., 2007).

El propósito de un modelo de crecimiento es el de integrar el conocimiento existente permitiendo la predicción de la tasa de crecimiento, pero además sirven para indicar posibles vacíos en la investigación donde el conocimiento es limitado. La utilización que se les da a los modelos, es para relacionar el peso del animal con el tiempo por medio de ecuaciones para describir curvas de crecimiento. El crecimiento es un fenómeno complejo, influenciado por muchas determinantes. Pero aun cuando el crecimiento es parte de múltiples aspectos que relaciona la respuesta del animal a su entorno, este no puede ser considerado como un fenómeno independiente (Bastianelli y Sauvant, 1997).

Schinckel y de Lange (1996) propusieron que algunos modelos de crecimiento en cerdos han evolucionado, los cuales pueden ser utilizados para optimizar la nutrición y el manejo del cerdo promedio dentro de una población. Diversas ecuaciones de crecimiento no lineales han sido utilizadas para ajustar el peso al nacimiento como una función de edad., propusieron que los modelos de crecimiento de los cerdos tienen el potencial de evaluar decisiones alternativas de manejo y optimización de de sistemas productivos.

Las curvas de crecimiento han sido caracterizadas por trazar medidas de tamaño (peso, altura, anchura) contra las de edad. El uso de modelos para describir crecimiento condensa la información contenida en cierto tiempo dentro de algunos parámetros biológicamente interpretables (Eisen, 1974). Existen diversos modelos disponibles para este propósito pero es necesario evaluar los criterios de selección para ayudar a decidir cuál es el modelo que más conveniente para cada caso (Brown et al., 1976).

Diferentes modelos matemáticos han sido utilizados para describir el crecimiento animal. Dado que el crecimiento animal no sigue una tendencia lineal es necesario explorar modelos no lineales que permitan estudiar la relación entre la edad del animal, su velocidad de crecimiento y madurez. De igual manera las estimativas de parámetros interpretables biológicamente de una función de crecimiento, asociadas a las características productivas de los animales, pueden ser una alternativa para programas de selección, buscando precocidad con mayor peso y mejor calidad de la canal (Noguera et al., 2004).

Los modelos matemáticos utilizados para modelar el crecimiento animal tienen forma sigmoideal y en ellos pueden ser diferenciadas las siguientes fases: 1. *Fase de aceleración* esta fase idealmente debe tener su origen en el punto (0,0) y se caracteriza porque la velocidad de crecimiento es muy rápida y positiva llegando al máximo en el punto de inflexión de la curva. 2. *Fase de desaceleración* a partir del punto de inflexión la tasa de crecimiento comienza a disminuir en virtud de una serie de factores

fisiológicos que frenan el crecimiento. 3. *Fase lineal* cuando el animal deja de crecer o el crecimiento puede ser considerado para la reposición de tejidos (Noguera et al., 2004).

Modelos

Modelo de Gompertz: desarrollado por Benjamín Gompertz en 1825 se basa en que la tasa de crecimiento relativo decrece de forma exponencial; la curva es asimétrica respecto de su punto de inflexión, siendo el ritmo de desarrollo más lento después de alcanzado este punto (Goyache, 2005).

El modelo no lineal de Gompertz se describe de esta manera:

$$y_t = A e^{-be^{-kt}} + \varepsilon_t$$

donde:

y_t = peso del animal en el tiempo t ; A = estimativa del peso a la madurez; b = parámetro de integración, no posee significado biológico; k = índice de madurez o estimativa de precocidad de madurez y ε_t es el componente de error aleatorio.

El modelo de Gompertz también tiene otras variaciones:

Modelo Gompertz 2:

$$y_t = A e^{-\ln\left(\frac{A}{b}\right)e^{-kt}} + \varepsilon_t$$

donde:

y_t = peso del animal en el tiempo t ; A = estimativa del peso a la madurez;
 b = parámetro de integración, no posee significado biológico; k = índice de madurez o estimativa de precocidad de madurez y ε_t es el componente de error aleatorio.

Modelo de Bertalanffy: presenta características parecidas a la anterior, aunque su autor la derivó a partir de las tasas de anabolismo y catabolismo del animal (Goyache, 2005).

$$y_t = A (1 - be^{-kt})^3 + \varepsilon_t$$

donde:

y_t = peso del animal en el tiempo t ; A = estimativa del peso a la madurez;
 b = parámetro de integración, no posee significado biológico; k = índice de madurez o estimativa de precocidad de madurez y ε_t es el componente de error aleatorio.

Modelo logístico: es normalmente utilizada para expresar el crecimiento en humanos, presenta una curva simétrica respecto del punto de inflexión. Se aproxima en su segundo tramo a la función de Brody, pero en su primer tramo se aproxima a una función exponencial de crecimiento constante; en otras palabras, este modelo considera la velocidad de crecimiento proporcional al crecimiento efectuado y al que queda por efectuar (Goyache, 2005).

El modelo no lineal de la función logística se describe de esta manera:

$$y_t = A (1 - be^{-kt})^{-1} + \varepsilon_t$$

donde:

y_t = peso del animal en el tiempo t ; A = estimativa del peso a la madurez;
 b = parámetro de integración, no posee significado biológico; k = índice de madurez o estimativa de precocidad de madurez y ε_t es el componente de error aleatorio.

El modelo logístico, también tiene otras variaciones como:

Modelo logístico 2:

$$y_t = \frac{A}{1 + \left(\frac{A-b}{b}\right)e^{-kt}} + \varepsilon_t$$

donde:

y_t = peso del animal en el tiempo t ; A = estimativa del peso a la madurez;
 b = parámetro de integración, no posee significado biológico; k = índice de madurez o estimativa de precocidad de madurez y ε_t es el componente de error aleatorio.

Modelo logístico 3:

$$y_t = \frac{A}{1 + be^{-kt}} + \varepsilon_t$$

donde:

y_t = peso del animal en el tiempo t ; A = estimativa del peso a la madurez; b = parámetro de integración, no posee significado biológico; k = índice de madurez o estimativa de precocidad de madurez y ε_t es el componente de error aleatorio.

Los modelos Gompertz, Logístico, Bertalanffy son las funciones de crecimiento más frecuentemente utilizadas para describir el crecimiento de plantas y animales. Estos modelos presentan 2 parámetros con interpretación biológica y uno sin interpretación biológica. El parámetro “ A ” corresponde al peso asintótico o peso adulto, representa la estimativa del peso a la madurez. El parámetro “ K ” corresponde al índice de madurez o a la estimativa de precocidad de madurez. Cuanto mayor sea el valor de este parámetro más precoz es el animal y viceversa. El parámetro “ B ” es denominado parámetro de integración y no posee significado biológico (Noguera et al., 2004).

El modelo de Gompertz se utiliza para ajustar los datos de animales monogástricos, por lo que se ha convertido en una curva de crecimiento estándar en ratón, pollo, conejo y cerdo. No es descartable, tampoco, que los investigadores ajusten diversas curvas para los diferentes periodos de la vida del animal que estén interesados en estudiar. En la práctica, la curva de crecimiento de los animales presenta un breve periodo de crecimiento exponencial en los primeros estadios de vida, un largo periodo de crecimiento lineal y un periodo de rápida desaceleración hasta el tamaño adulto (Goyache., 2005).

Se han llevado a cabo diversos estudios comparando modelos para medir el crecimiento animal; Abreu et al. (2004) menciona que de un grupo de modelos evaluados los que mejor ajustaron el crecimiento en bovinos fueron el de Brody y Gompertz. Por otro lado Malhado (2008) publicó que los modelos que mejor describieron el crecimiento en búfalos fueron el Logístico y Gompertz. Concordando con Álvarez et al. (1997) en donde el modelo de Gompertz fue el que mejor describió el crecimiento en chinchillas. Sin embargo Schulín-Zeuten et al. (2007), mencionaron que el modelo de Shumacher describió el crecimiento en cerdos mejor que el de Gompertz. Contrariamente a lo publicado por Solanes y Stern (2001) en donde se menciona a el modelo de Brody como el seleccionado de acuerdo a los criterios de evaluación para ajustar el crecimiento en cerdos. Mientras que Kohn et al. (2007) mencionaron que el modelo de Richards fue el mejor para modelar el crecimiento en cerdos miniatura.

Evaluación de modelos

Los modelos han sido evaluados según su bondad de ajuste, la interpretación biológica de los parámetros, la dificultad de aplicación informática sobre la curva de crecimiento. 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

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, lo que hace necesario obtener funciones que se ajusten a todos los datos observados (Agudelo-Gómez et al., 2008).

Criterios de selección para evaluar la capacidad de ajuste de los modelos

Posada y Noguera (2007) Menciona que en la selección de modelos, se busca aquel que presente mejor ajuste de los datos es decir que explique de mejor forma la variabilidad del fenómeno en estudio. Entre los criterios para evaluar modelos se encuentra: Cuadrados medios del residuo (CMR), Criterio de información de Akaike (AIC), Criterio de información Bayesiano (BIC), Coeficiente de determinación (R^2) y análisis de residuales.

Cuadrados medios del residuo (CMR): el CMR agrupa la variabilidad que no se incluyen en el modelo. La varianza de n residuales (e_i) se representa como:

$$CMR = \frac{\sum (e_i - \bar{e})^2}{n - K} = \frac{\sum e_i^2}{n - K} = \frac{SCR}{n - K}$$

donde:

$\bar{e}$ = Media de n residual; K = Número de parámetros estimados en el modelo; SCR = Suma de cuadrados de las distancias verticales de los puntos (residuales) a la curva del modelo (residuales); CMR = Varianza residual.

Los modelos seleccionados por su mayor capacidad de ajuste son aquellos que expresan el menor valor en este criterio (Posada y Noguera., 2007).

Criterio de información de Akaike (AIC): el AIC permite determinar de qué manera los modelos se ajustan a una base de datos, el mejor modelo es aquel que posea menor valor de AIC (Noguera et al., 2008).

Además es útil para comparar modelos con diferente número de parámetros. Por lo tanto tiene mayor ventaja que la R^2 , la cual incrementa con el incremento del número de parámetros en los modelos y esto no es útil en la comparación de modelos con diferente número de parámetros. Los valores más bajos de AIC muestran el mejor modelo; por lo tanto es uno de los pocos parámetros que proporcionan un ajuste adecuado de los valores (Kohn et al., 2007).

El criterio combina la teoría de máxima verosimilitud y la información teórica a través de la siguiente ecuación (Posada y Noguera, 2007):

$$AIC = -2 * \log Lik + 2K$$

donde:

Log Lik = logaritmo de máxima verosimilitud, K= término proporcional al número de parámetros.

Criterio de información bayesiano (BIC): el BIC es calculado para los diferentes modelos como una función de la bondad de ajuste del logaritmo de máxima verosimilitud el número de parámetros del modelo (K) y el número total de datos (N). El modelo con el más bajo valor de BIC es considerado el mejor en explicar la variabilidad del fenómeno en estudio. El BIC está definido por la ecuación (Posada y Noguera, 2007):

$$BIC = -2 * \log Lik + \log (N) * K$$

Donde:

Log Lik = logaritmo de máxima verosimilitud, N= número total de datos;
K= número de parámetros ajustados.

Coefficiente de determinación (R^2): la R^2 mide el porcentaje de variación total en Y debido al modelo utilizado y se expresa en porcentaje. Este valor se obtiene a partir de la suma de cuadrados del error (SCE) y de la suma de cuadrados total (SCR), a partir de la ecuación (Posada y Noguera, 2007):

$$R^2 = 1.0 - \frac{SCR}{SCT}$$

donde:

SCE = Suma de cuadrados de las distancias de los puntos desde la curva de mejor ajuste determinada por regresión no lineal; SCT = Suma de cuadrados de las distancias de los puntos desde una línea horizontal correspondiente a la media de todos los valores de Y .

Análisis de residuales: los residuales de cada modelo son calculados como la diferencia entre los valores observados y los predichos ($e_i = Y_i - \hat{Y}_i$). Para el análisis de los residuales se puede probar constancia de la varianza del error, independencia de los términos de error y ausencia de datos extremos (*outliers*). Para verificar el primer supuesto, los residuos son graficados frente a los valores estimados, buscando determinar si la magnitud de los sesgos incrementa o disminuye con la magnitud de los valores estimados. La independencia de los términos de error les asigna la mayor capacidad de ajuste a los modelos que registren la menor correlación entre residuales sobre el tiempo, para lo cual los residuales del tiempo i son graficados contra aquellos del tiempo precedente ($i-1$). Para determinar la ausencia de datos extremos (*outliers*) se grafican los residuales estandarizados frente al tiempo, identificando que no se registren puntos superiores a cuatro o más desviaciones estándar desde el punto cero (Posada y Noguera, 2007).

Además de los criterios matemáticos que permiten determinar cuál es la capacidad de ajuste de un modelo frente a otro, es necesario tener en cuenta como parámetro de evaluación la coherencia biológica de los parámetros estimados del modelo. Este criterio de evaluación depende del

conocimiento que se tenga sobre el fenómeno biológico en estudio (Noguera et al., 2008).

El parámetro A es una estimación del valor del peso asintótico del animal (o de la población analizada), no siendo, necesariamente, el mayor peso que el animal consigue, sino el peso medio al que se tiende a la madurez independientemente de las variaciones estacionales (Malhado et al., 2008).

Malhado et al. (2008) mencionaron que el parámetro b representa el grado de madurez del animal en el momento del nacimiento. Valores altos indican bajos grados de madurez al nacimiento. El parámetro b no posee interpretación biológica, pero es importante para modelar la curva sigmoidea desde el nacimiento ($t=0$) hasta la edad adulta ($t \rightarrow \infty$). Otro parámetro importante es el k, que representa la tasa de madurez del animal, indicando la velocidad de crecimiento para alcanzar el peso asintótico. Animales con altos valores de k presentan una madurez precoz, en comparación con animales de valores menores de k y de peso inicial similar. Debido a la pequeña variación en el peso al nacimiento, la variación entre los valores de k representa, con buena precisión, las variaciones en la velocidad relativa con que el animal crece (Malhado et al., 2008). Cuanto mayor el valor de k, más rápidamente el animal va a alcanzar su peso adulto. Animales con un alto valor de k presentan madurez precoz en comparación con individuos de valores más bajos de k y de peso inicial semejante (Noguera et al., 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El presente trabajo se llevó a cabo en el modelo experimental de producción porcina del Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias de la Universidad Autónoma de Baja California, ubicada en latitud norte 32° 34' y 115° 27' longitud oeste, con una temperatura promedio anual de 37°C. Dicho estudio tuvo una duración de un año y medio; comenzando en el mes de Enero del 2008 y finalizando en el mes de Junio del 2009.

Animales

Se incluyeron 800 cerdos hembras y machos de las razas Yorkshire, Landrace, Duroc y sus respectivas cruzas.

Metodología

Los animales fueron pesados cada 14 días durante las etapas de nacimiento, destete, crecimiento, desarrollo y engorda. El registro en las etapas de nacimiento y destete se llevó a cabo utilizando una báscula tipo reloj. Posteriormente en la etapa de crecimiento y desarrollo se registraron los pesos con ayuda de una báscula digital y por último en la etapa de engorda se realizó con báscula granataria. Las variables registradas fueron; peso individual, número individual, número de camada, raza y fecha de nacimiento.

Análisis estadístico

Una vez construida la base de datos con las variables registradas, se modeló la tasa de crecimiento en general, por sexo, por raza y por época del año. Para estimar el peso corporal a cierta edad, seis funciones de crecimiento no-lineal con 3 parámetros fueron ajustadas a las series de peso por edad de cada animal. Las ecuaciones para los modelos de crecimiento aplicados se presentan en el Cuadro 1.

La estimación de los parámetros de las funciones de crecimiento no-lineal se llevó a cabo utilizando el procedimiento NLMIXED del paquete estadístico SAS. Los modelos fueron comparados empleando el criterio de información de Akaike (AIC), el criterio de información Bayesiano (BIC), coeficiente de determinación (R^2), cuadrado medio del residuo (CMR), análisis de residuales (Posada y Noguera, 2007; Noguera et al., 2008). Así como el análisis de los parámetros A, b, k (Agudelo et al., 2008; Noguera et al., 2008).

Para el cálculo del coeficiente de determinación por cada modelo, se realizó un análisis de regresión lineal considerando el peso predicho por el modelo como variable independiente y el peso observado de cada animal como variable dependiente.

Cuadro 1. Descripción matemática de las funciones de crecimiento no-lineal con tres parámetros.

modelo	autor	no. de parámetros
$y_t = A e^{-be-kt} + \varepsilon_t$	Gompertz ver-1	3
$y_t = A e^{-\ln\left(\frac{A}{b}\right)e^{-kt}} + \varepsilon_t$	Gompertz ver-2	3
$y_t = A (1 - be^{-kt})^3 + \varepsilon_t$	Bertalanffy	3
$y_t = A (1 - be^{-kt})^{-1} + \varepsilon_t$	Logístico ver-1	3
$y_t = \frac{A}{1 + \left(\frac{A-b}{b}\right)e^{-kt}} + \varepsilon_t$	Logístico ver-2	3
$y_t = \frac{A}{1 + be^{-kt}} + \varepsilon_t$	Logístico ver-3	3

y_t= peso del animal en el tiempo *t*, *A*= peso a la madurez, *b*= parámetro sin significado biológico, *k*= índice de madurez o precocidad.

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis general de los modelos generó un coeficiente de determinación (R^2) de 99.69% para todos los modelos. El coeficiente de determinación proporciona una medida de la bondad de ajuste por lo que es deseado que los valores sean altos, lo que significa que por este criterio cualquier modelo proporciona un adecuado ajuste de los datos estudiados. El valor de R^2 obtenido en este estudio concuerda con lo publicado por Schulin-Zeuten et al. (2007) quienes evaluaron diferentes modelos para describir el crecimiento en cerdos. En este estudio, el modelo de Gompertz mostró valores de R^2 de 99.50% proporcionando un buen ajuste para los datos del modelo evaluado (figuras 4 y 5), sin embargo el que un modelo presente un alto valor de R^2 no significa que pueda considerarse como el que mejor describa el fenómeno de estudio, ya que puede presentar una limitada capacidad de predicción (Noguera et al., 2008).

En cuanto al criterio de evaluación del cuadrado medio del residuo ($\hat{\sigma}_e^2$) los modelos que mostraron el valor más bajo fueron Gompertz ver-1 y ver-2 así como el modelo logístico ver-1 los cuales obtuvieron valores de 2.5514 estos valores fueron menores que los propuestos por Najari et al. (2007) para los mismos modelos en donde el modelo Gompertz obtuvo un valor de ($\hat{\sigma}_e^2$) de 7.41 y el Logístico de 13.37. Para este criterio, los modelos que generen el menor valor son los de mayor capacidad de ajuste (Posada et al., 2007).

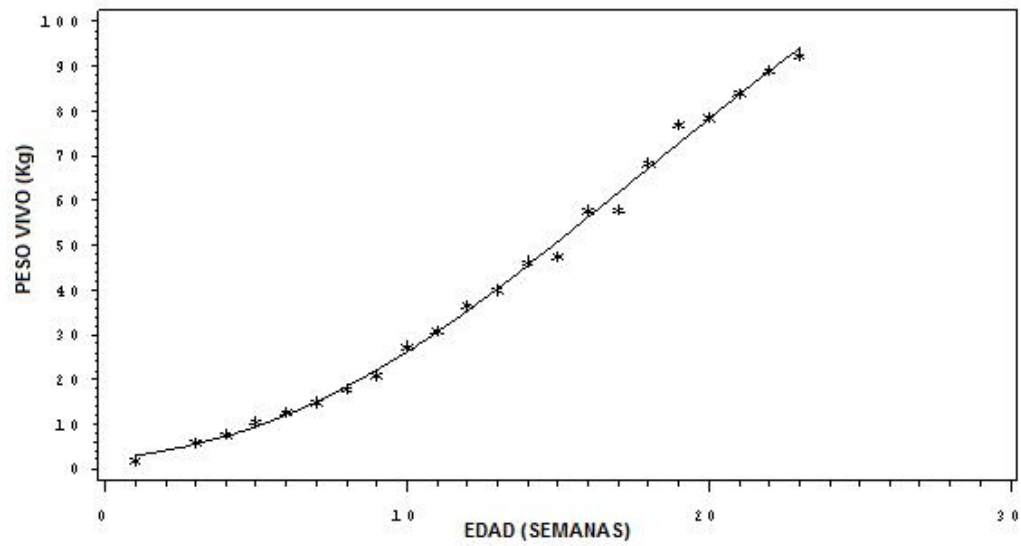


Figura 4. Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Gompertz ver-1.

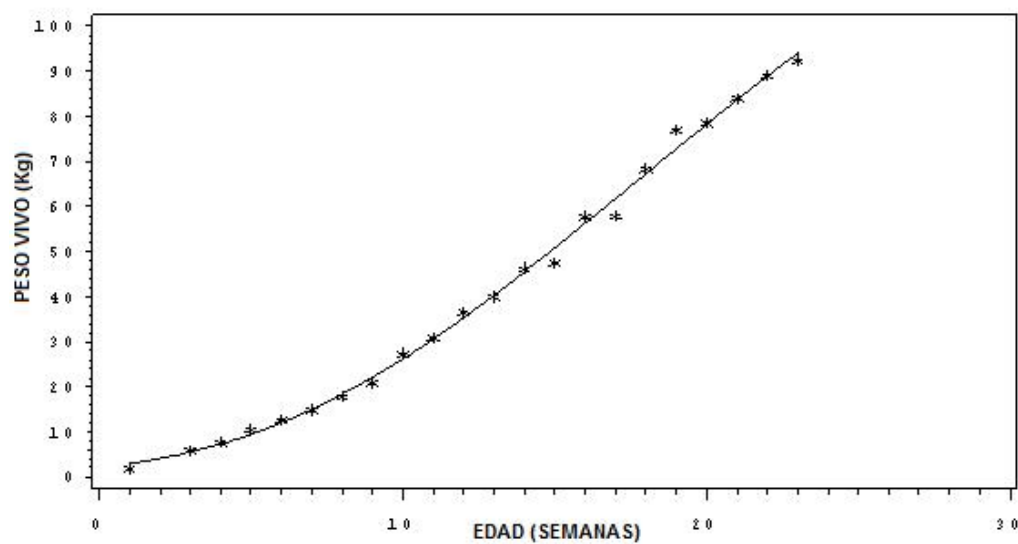


Figura 5. Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Gompertz ver-2.

Los modelos con los menores valores del criterio de información de Akaike (AIC) fueron Gompertz ver-1 y 2 así como el Logístico ver-1 (figura 6), con valores de 91 (cuadro 2). Los valores obtenidos en este estudio resultaron más bajos que los publicados por Khon et al. (2007) con valores de AIC de 162.3. Los valores bajos de AIC son los más deseados pues estos permiten determinar el mejor ajuste del modelo a una base de datos.

El criterio de información Bayesiano (BIC) es utilizado como una función de la bondad de ajuste del logaritmo de máxima verosimilitud del número de parámetros y es deseado que su valor sea bajo, por lo que debe tomarse el modelo con el menor valor para este criterio. Los valores de BIC más bajos fueron generados por los modelos Gompertz ver-1 y 2 así como por el modelo Logístico ver-1 con valores de 95.4, concordando con lo publicado por Posada y Noguera (2007) en donde el valor de BIC para su estudio fue de 97.62.

En referencia a la estimación de los parámetros que definen a la función no-lineal y en su análisis biológico, el parámetro A refleja el peso medio hacia la madurez, entonces es recomendable elegir el modelo no solo con el mayor valor de A si no con el que presente valores más acordes a los resultados obtenidos al sitio en donde se lleva a cabo el estudio. Los modelos Gompertz ver-1 y 2 así como el modelo Logístico ver-1 presentaron valores de A de 175.59 lo que significa que la población estudiada puede alcanzar a la madurez un peso de 175.59 Kg independientemente de los componentes de variación que se presenten.

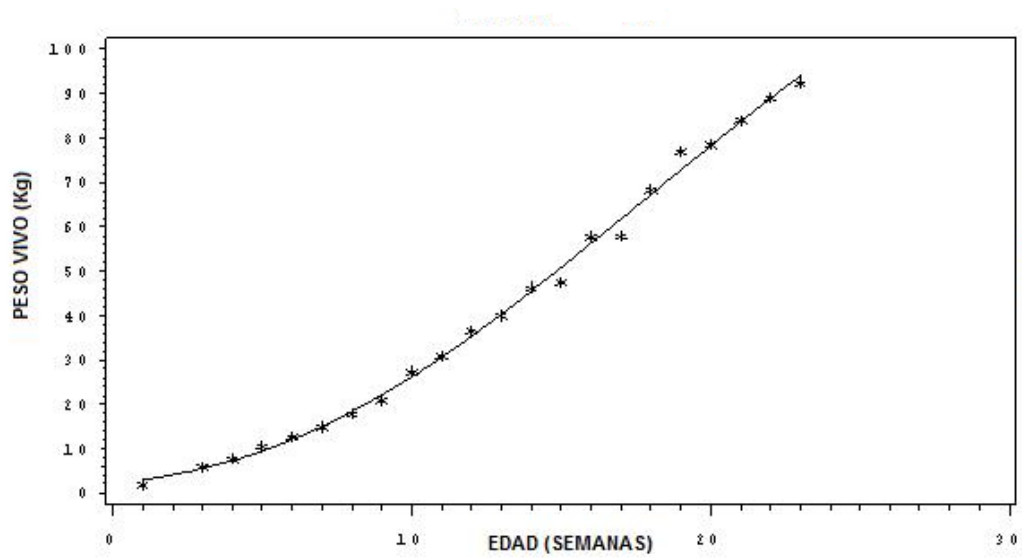


Figura 6. Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Logístico ver-1, en cerdos

Cuadro 2. Estimación de los parámetros de las funciones de crecimiento en general, en cerdos

Función de crecimiento	parámetro	estimación	EE	AIC	BIC	
Gompertz ver-1	A	175.59	14.6419	91.0	95.4	2.5514
	b	4.4792	0.1169			
	k	0.0856	0.0060			
Gompertz ver-2	A	175.59	14.6416	91.0	95.4	2.5514
	b	1.9917	0.3542			
	k	0.0856	0.0060			
Bertalanffy	A	114.80	4.4771		99.6	3.0819
	b	28.1292	1.9823	95.2		
	k	0.2069	0.0086			
Logístico ver-1	A	175.59	14.6416	91.0	95.4	2.5514
	b	1.9917	0.3542			
	k	0.0856	0.0060			
Logístico ver-2	A	114.80	4.4771		99.6	3.0819
	b	28.1292	1.9823	95.2		
	k	0.2069	0.0086			
Logístico ver-3	A	114.80	4.4771		99.6	3.0819
	b	3.9411	0.3633	95.2		
	k	0.2069	0.0086			

Kohn et al. (2007), publicó valores de A similares a los encontrados en este estudio, con valores de A para animales con alimentación restringida de 160 kg. Mientras que Schulin-Zeuten et al. (2007), obtuvieron un valor para A de 180 kg. A diferencia de lo publicado por Solanes y Steren (2001) quienes presentan un valor de A de 99.4 kg.

Aunque el parámetro b no tenga interpretación biológica, son deseados los modelos que posean valores bajos de este criterio, debido a que los valores altos son indicadores de un bajo grado de madurez al nacimiento.

El modelo de Gompertz ver-1 obtuvo un valor de 4.47 para b, mientras que los modelos Gompertz ver-2 y Logístico ver-1 presentaron valores de 1.99. Siendo estos datos más bajos que los propuestos por Schulin-Zeuten et al. (2007) quienes obtuvieron para el modelo de Gompertz valores de b de 8.66.

Entonces, los animales en este estudio son pronosticados a un mayor grado de madurez que los animales en el estudio de Schulin-Zeuten et al. (2007).

El parámetro k, representa la tasa de madurez del animal. Para este parámetro son deseados que los modelos presenten un valor mayor pues significa que los animales muestran madurez precoz.

Los modelos Gompertz ver-1 y ver-2 así como el modelo Logístico ver-1 generaron valores de k de 0.085, los cuales son mayores a valores de k los publicados por Schulín-Zeuten et al. (2007) en donde se observan valores de entre 0.0029 y 0.0034.

El ajuste de los modelos Bertalanffy, Logístico ver-2 y ver-3 se muestran en la figura 7 con valores de R^2 superiores al 95% y valores superiores a 95 por AIC y BIC.

Análisis de residuales

El comportamiento de los residuales por modelo no-lineal generado se presenta gráficamente en la figura 8, en la cual, para los modelos Gompertz, ver-1, Gompertz ver-2, y Bertalanffy. se observa que en general los residuales se localizan cercanos al valor cero, denotando ajuste máximo del modelo a los datos.

Además sobresalen dos valores aberrantes negativos en la semana 15 y semana 17 y uno positivo en la semana 19, sin embargo en general no se observa falta de ajuste a los datos. Los otros modelos no-lineales evaluados mostraron comportamiento similar a éstos.

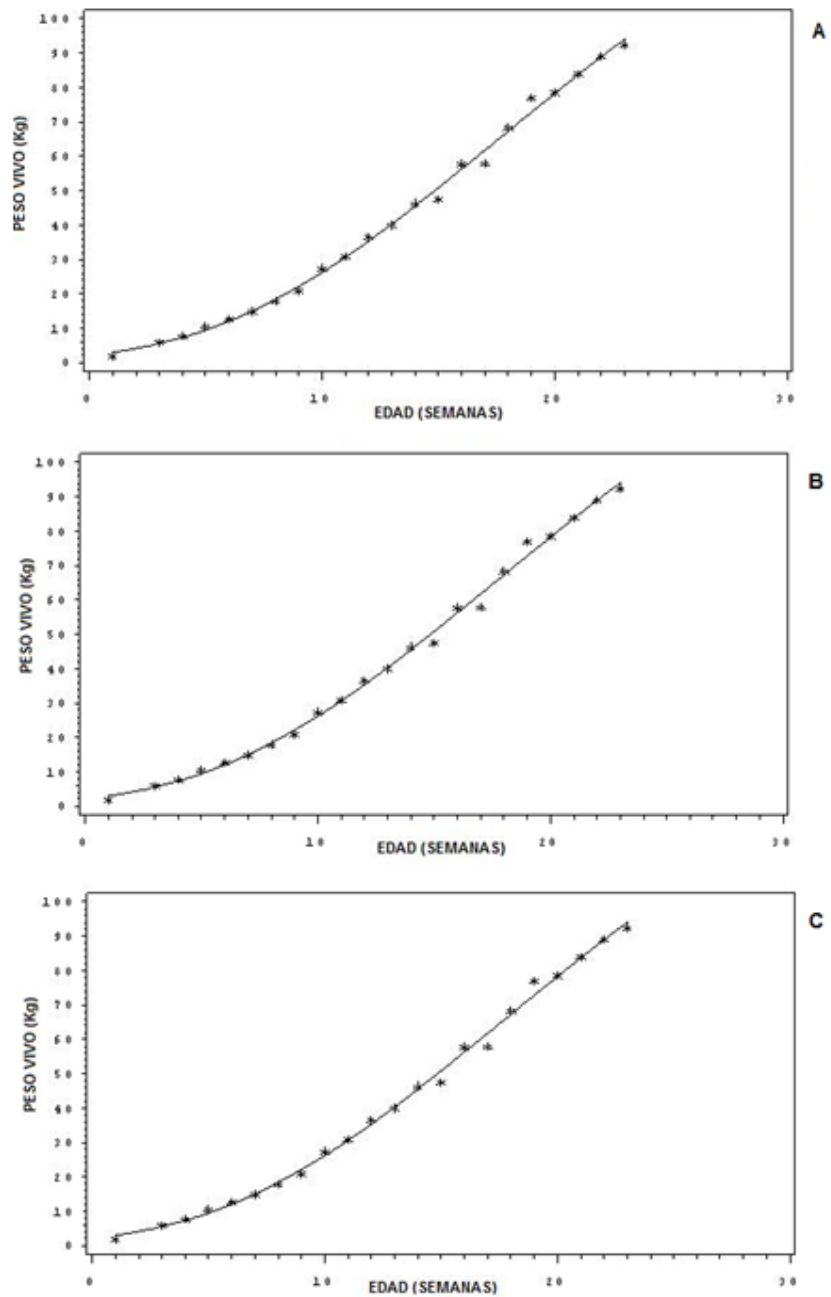


Figura 7. Crecimiento medio observado y predicho de aplicar los modelos

A) Bertalanffy, B) Logístico ver-2 y C) Logístico ver-3

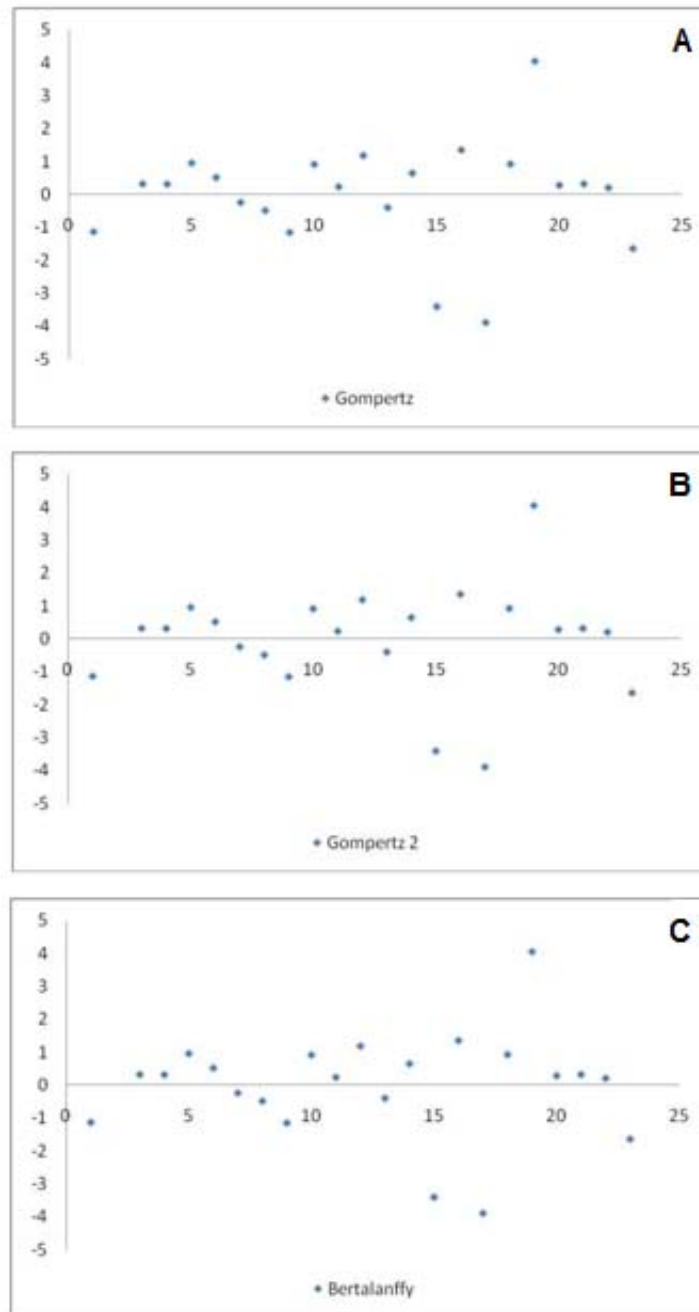


Figura 8. Comportamiento de los residuales de los modelos:

A) Gompertz,ver-1, B) Gompertz ver-2, y C) Bertalanffy.

Variación de los modelos por grupo genético

Animales Puros: existen algunos factores que afectan el crecimiento como lo es el grupo genético. En este estudio realizado a animales puros (Figura 10), todos los modelos obtuvieron una R^2 del 99.80 % (Cuadro 3). Concordando con lo publicado por Schulin-Zeuten et al. (2007) en donde se observa que los valores de R^2 oscilan entre 97.3 % y el 99.8 %, por otro lado estos valores son superiores a lo publicado por Heras et al. (2008) en donde se muestran valores de R^2 de entre 81.40 % y 82.20%.

Para el criterio de cuadrado medio del residuo el modelo que generó el menor valor fue el de Bertalanffy con 2.715 siendo este valor menor a lo publicado por Malhado et al. (2008) en donde se muestra que este mismo modelo obtuvo valores de σ^2_e de 4.704, a diferencia de lo propuesto por Najari et al. (2007) en donde este modelo generó un valor de 11.19.

Para el AIC, el modelo con el valor más bajo fue el de Bertalanffy con 85.3, este valor fue mucho más bajo que lo propuesto por Kohn et al. (2007), en donde el modelo Bertalanffy generó valores de AIC de 168.3.

Para el BIC, el modelo con el menor valor fue el de Bertalanffy con 89.5, estando muy por debajo de lo generado por el resto de los modelos.

Para evaluar los modelos de acuerdo al análisis de los parámetros es necesario tomar en cuenta los valores de A, b y k.

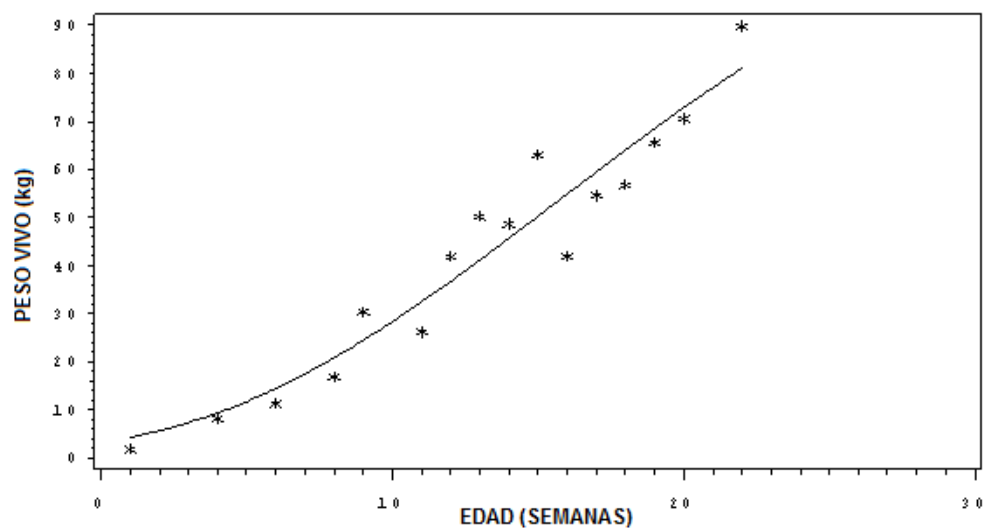


Figura 9. Crecimiento medio observado y predicho mediante el modelo Bertalanffy para animales puros.

Cuadro 3. Estimación de los parámetros de las funciones de crecimiento para animales puros, en cerdos

Función de crecimiento	parámetro	estimación	EE	AIC	BIC	
Gompertz ver-1	A	233.30	39.0350	89.8	94.0	3.3608
	b	2.8898	0.4859			
	k	0.0686	0.0072			
Gompertz ver-2	A	126.53	11.3990	101.5	105.7	3.3608
	b	25.8974	1.9629			
	k	0.1851	0.0121			
Bertalanffy	A	233.30	39.0350	85.3	89.5	2.7156
	b	2.8898	0.4859			
	k	0.0686	0.0072			
Logístico ver-1	A	126.53	11.3990	101.5	105.7	3.3608
	b	25.8974	1.9629			
	k	0.1851	0.0121			
Logístico ver-2	A	126.53	11.3989	101.5	105.7	5.8605
	b	4.7043	0.5523			
	k	0.1851	0.0121			
Logístico ver-3	A	242.12	44.0377	89.9	94.0	5.8605
	b	4.3950	0.09169			
	k	0.0671	0.0075			

Los modelos Gompertz ver-1 y Bertalanffy fueron los que obtuvieron un valor de A de 233.30, lo que significa que es probable que los animales alcancen un peso a la madurez de 233.30 kg concordando con lo publicado por Kohn et al. (2007) en donde los cerdos alcanzan un peso a la madurez de 220 kg, así como con lo propuesto por Solanes y Stern (2001) en donde se genera un valor mínimo de A de 241.2. Para el parámetro b ambos modelos generaron el valor más bajo con 2.88, como este parámetro carece de interpretación biológica solamente se desea que el modelo que se elija posea valores más bajos que el resto de los modelos. Para el parámetro k los modelos Gompertz ver-1 y Bertalanffy generaron los valores más altos de k con 0.068.

Animales cruzados: para el estudio de animales cruzados (Figura 11), el coeficiente de determinación de R^2 fue de 99.70% para todos los modelos (Cuadro 4). Al igual que en el estudio realizado por Schulín-Zeuten et al. (2007) en donde todos los modelos evaluados generaron una R^2 de entre 97.30% y 99.80%.

Para el criterio de evaluación de $\hat{\sigma}_e^2$, el modelo que generó el menor valor fue el de Bertalanffy con 3.396, este valor es menor que lo propuesto por Najari et al. (2007) en donde el cuadrado medio del residuo fue de 11.19. Sin embargo estos valores están muy por debajo de los generados por Schulín-Zeuten et al. (2007) donde el cuadrado medio del residuo para todos los modelos evaluados va desde 40 hasta 252.

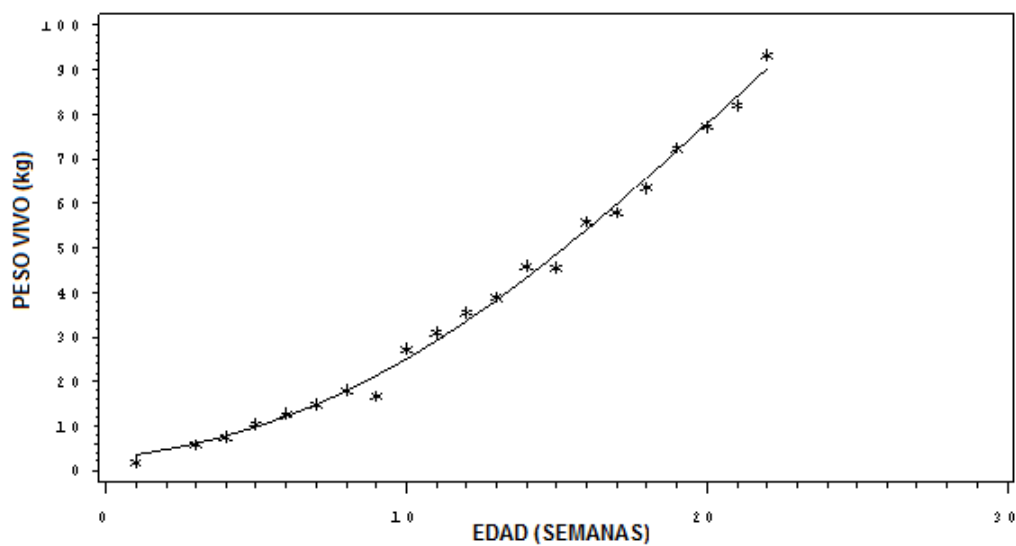


Figura 10. Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Bertalanffy para animales cruzados

Cuadro 4. Estimación de los parámetros de las funciones de crecimiento para animales cruzados, en cerdos.

Función de crecimiento	parámetro	estimación	EE	AIC	BIC	
Gompertz ver-1	A	243.83	45.1120	95.2	99.4	3.7289
	b	2.6139	0.5113			
	k	0.0689	0.0079			
Gompertz ver-2	A	250.5	52.3333	102.7	106.9	3609.95
	b	2.6767	0.5719			
	k	0.0679	0.0086			
Bertalanffy	A	243.83	45.1120		97.5	3.3967
	b	2.6139	0.5113	93.4		
	k	0.0689	0.0079			
Logístico ver-1	A	128.84	11.5911	102.7	106.9	5.3189
	b	28.4705	2.2743			
	k	0.1894	0.0124			
Logístico ver-2	A	128.84	11.5910	102.7	106.9	5.3189
	b	4.3720	0.5426			
	k	0.1894	0.0124			
Logístico ver-3	A	128.8	12.1766	95.2	99.4	3.7289
	b	4.3720	0.5965			
	k	0.1894	0.0134			

Para el AIC, el modelo con el menor valor fue el de Bertalanffy con 93.4. Este valor es menor al propuesto por Kohn et al. (2007), con valores de 168.32.

Para el BIC, el modelo con el menor valor fue el de Bertalanffy con 97.5, estando por debajo de lo generado por el resto de los modelos.

Para el análisis de los parámetros, los modelos Gompertz ver-1 y Bertalanffy fueron los que obtuvieron los mejores valores pues generaron para A valores de 243.83, estos modelos mostraron los valores más altos y concuerdan con lo propuesto por Kohn et al. (2007) en donde el peso a la madurez es de 220 kg sin embargo son menores a lo publicado por López et al. (2000) en donde se muestra que el peso a la madurez en cerdos va desde los 274 kg.

Para el parámetro b, los modelos Gompertz ver-1 y Bertalanffy fueron los que generaron los menores valores con 2.613. Estos valores están muy por encima de lo propuesto por Kohn et al. (2007) en donde el valor de b es de 0.544.

Para el parámetro de k los modelos con los valores más altos fueron los Logísticos en sus tres versiones con 0.189 sin embargo estos valores son menores que los publicados por Kohn et al. (2007) donde el índice de madurez de los cerdos generó valores de 1.389

Variación de los modelos por sexo

Hembras: para el estudio realizado en animales hembras (Figura 12) todos los modelos generaron una R^2 de 99.5% (Cuadro 5). Siendo este valor mayor que lo publicado por Delgadillo et al. (2009) en donde el estudio generó una R^2 de entre 98.20% y 90.90%.

Para el cuadrado medio del residuo, el modelo que generó el menor valor fue el de Bertalanffy con 7.297 el cual es un valor menor a lo propuesto por Najari et al. (2007) en donde los valores del cuadrado medio del residuo van desde 7.41 hasta 13.37.

El modelo que presentó el menor valor de AIC fue el de Bertalanffy con 104.6 concordando con lo generado por Kohn et al. (2006) en donde las hembras analizadas con el modelo de Bertalanffy generaron un valor de AIC de 168.32.

Así mismo el modelo que generó el valor más bajo de BIC fue el de Bertalanffy con 108.5 estando este valor dentro del rango de lo publicado por Posada y Noguera (2007) en donde los valores de BIC fueron de entre 97.62 y 126.26.

Los modelos que mostraron los mejores valores para el análisis de los parámetros fueron Gompertz ver-1 y 2 así como Logístico ver- 1, con

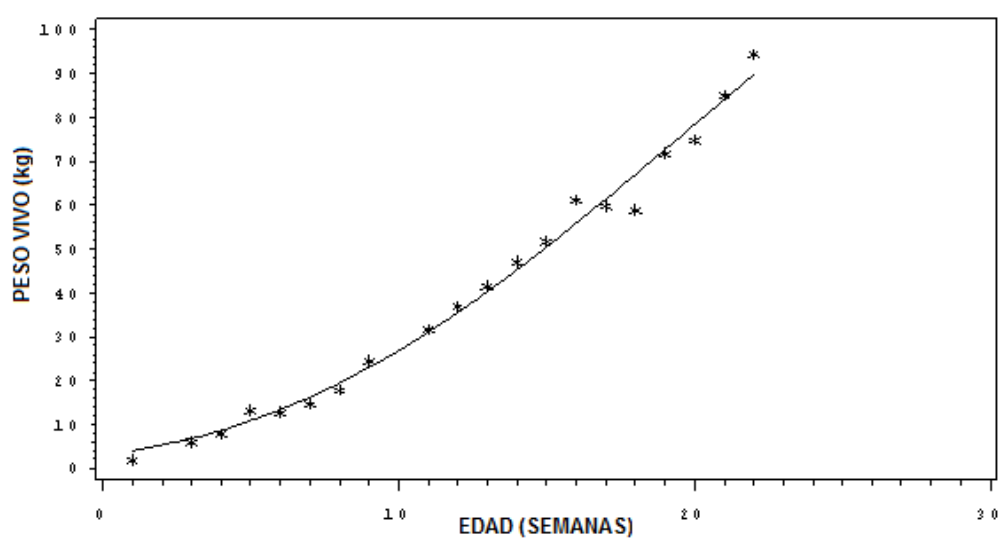


Figura 11. Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Bertalanffy para hembras.

Cuadro 5. Estimación de los parámetros de las funciones de crecimiento para animales hembras, en cerdos

Función de crecimiento	parámetro	estimación	EE	AIC	BIC	
Gompertz ver-1	A	214.5	54.6343	106.1	110.1	7.9070
	b	4.2877	0.1632			
	k	0.0725	0.0126			
Gompertz ver-2	A	214.5	54.6353	111.8	115.8	10.5254
	b	2.9459	0.8844			
	k	0.0725	0.0126			
Bertalanffy	A	436.5	233.8	104.6	108.5	7.2973
	b	0.8349	0.0151			
	k	0.0325	0.0111			
Logístico ver-1	A	214.5	54.6353	111.8	115.8	10.5254
	b	2.9459	0.8844			
	k	0.0725	0.0126			
Logístico ver-2	A	123.6	14.9669	111.8	115.8	10.5254
	b	24.5290	3.1360			
	k	0.1883	0.0189			
Logístico ver-3	A	123.6	14.9672	106.1	110.1	7.9069
	b	4.8403	0.9100			
	k	0.1883	0.0189			

valores de A de 214.5 siendo este valor menor que lo propuesto por Schinkel and De Lange (1996) en donde se observa que las hembras alcanzan un peso a la madurez de 284.9 kg. Para el parámetro b los modelos Gompertz ver-2 y Logístico ver-1 generaron valores de 2.945 estos valores son mayores que lo propuesto por Schinkel and De Lange (1996) en donde las hembras generaron un valor de b de 0.0823. A diferencia del modelo Gompertz ver-1 que obtuvo un valor de b de 4.2877. Para el parámetro k los modelos Gompertz ver-1 y 2 y el Logístico ver-1 mostraron valores de 0.702 los cuales son más altos que los publicados por Schulze-Zeuten et al. (2007) en donde se observan valores de k de entre 0.0029 y 0.0034.

Machos: el análisis de los modelos para animales machos (Figura 13,14 y 15), generó una R^2 de 99.78% para todos los modelos (Cuadro 6). Siendo mayor que la propuesta por Noguera et al. (2008) en donde todos los modelos generaron una R^2 de entre 86.26% y 89.81%.

Para el cuadrado medio del residuo los modelos que mostraron el menor valor fueron Gompertz ver-1 y Bertalanffy con 4.569 los cuales son valores más bajos que los generados por Najari et al. (2007) en donde el modelo Gompertz obtuvo un valor de 7.41 y el modelo Bertalanffy un valor de 11.19.

Los modelos que generaron los menores valores de AIC fueron Gompertz ver-1 y 2 y el modelo Logístico ver- 3 con 99.5. Estando por

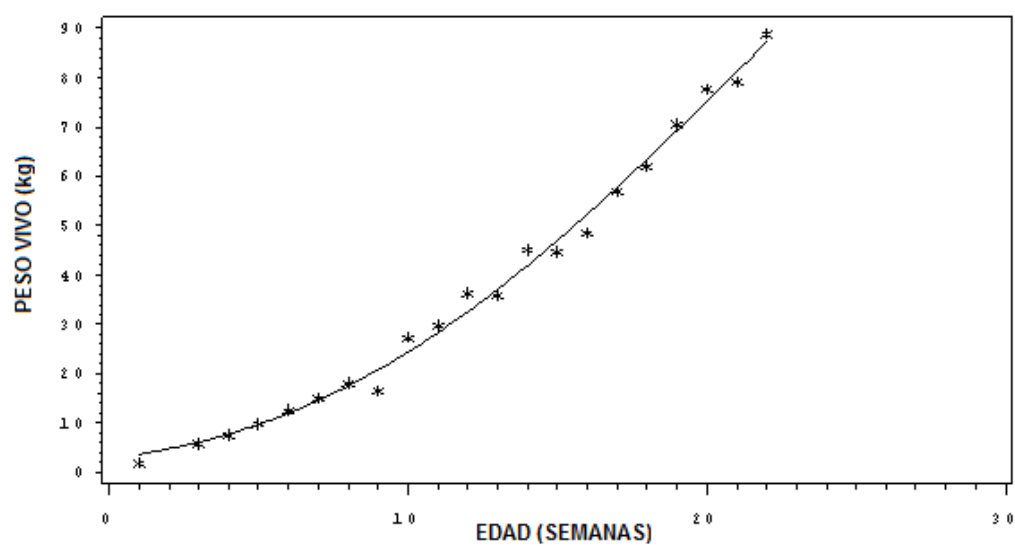


Figura 12. Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Gompertz ver-1 para machos.

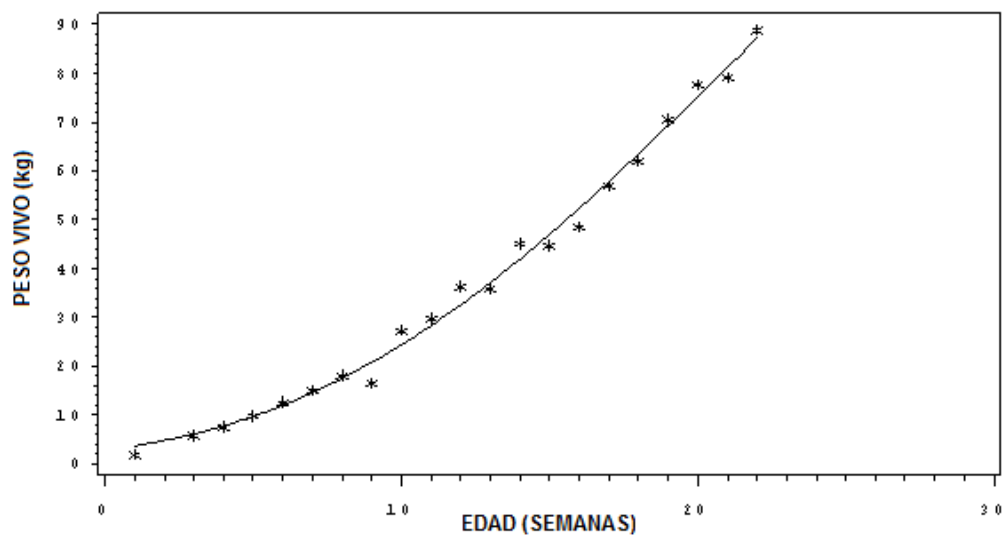


Figura 13. Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Gompertz ver-2 para machos.

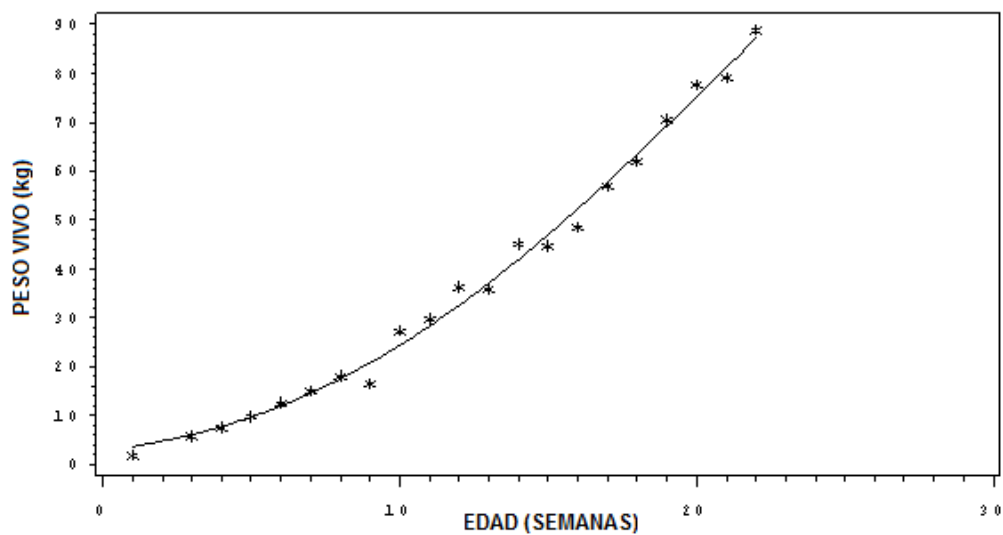


Figura 14. Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Bertalanffy para machos.

Cuadro 6. Estimación de los parámetros de las funciones de crecimiento para animales machos, en cerdos

Función de crecimiento	parámetro	estimación	EE	AIC	BIC	
Gompertz ver-1	A	243.85	51.9449	99.5	103.7	4.5692
	b	2.6730	0.5646			
	k	0.0672	0.0086			
Gompertz ver-2	A	258.7	66.9564	104.8	109.0	5.8735
	b	2.8028	0.6578			
	k	0.0650	0.0098			
Bertalanffy	A	243.85	51.9449	99.5	103.7	4.5692
	b	2.6730	0.5646			
	k	0.0672	0.0086			
Logístico ver-1	A	258.7	66.9570	104.8	109.0	5.8735
	b	2.8028	0.6578			
	k	0.0650	0.0098			
Logístico ver-2	A	128.1	14.0169	104.8	109.9	5.8735
	b	28.0407	2.6065			
	k	0.1852	0.0145			
Logístico ver-3	A	243.45	51.4182	99.5	103.5	4.5711
	b	4.5132	0.1186			
	k	0.0673	0.0086			

debajo de lo publicado por Kohn et al. (2007) en donde los machos analizados con el modelo Gompertz generaron valores de AIC de 162.30 y los machos analizados con el modelo logístico 188.76.

Para el BIC los modelos Gompertz ver-1, Bertalanffy y Logístico 3 fueron los que mostraron los valores más bajos con 103.7 y 103.5. Los cuales están dentro del rango que propone Posada y Noguera (2007) en donde los modelos evaluados generaron valores de BIC de 97.62 y 126.26.

Los modelos que generaron los mejores valores de A, b y k para el análisis de parámetros fueron Gompertz ver-1 y 2 y el de Bertalanffy. con valores de A de 243.85 siendo estos valores más altos que los observados en el estudio de Schinckel y de Lange (1996) en donde los machos muestran un peso a la madurez de 146.3. Sin embargo López et al. (2000) propone que los cerdos pueden alcanzar un peso a la madurez de 274 kg.

Los modelos Gompertz ver-2 y Bertalanffy generaron valores de b de 2.802, a diferencia del modelo gompertz ver-1 que mostró un valor de 2.673 sin embargo estos valores son más altos que los que proponen Schinckel y de Lange (1996) en donde los machos evaluados con diferentes modelos mostraron un valor de b de 0.030.

Para el parámetro k los modelos Gompertz ver-1 y Bertalanffy mostraron valores de 0.067 y el Gompertz ver-2 de 0.065. A diferencia de los valores obtenidos por Schulin-Zeuten et al. (2007) de 0.0029 y 0.0034.

Variación de los modelos por época del año

Invierno: los modelos que evaluaron animales en época de invierno (Figura 16, 17 y 18) generaron una R^2 de 99.72% (Cuadro 7). Concordando con lo que propone Malhado et al. (2008) en donde los modelos evaluados obtuvieron una R^2 de entre 94.10% y 99.10%.

Los modelos que mostraron el menor valor para el cuadrado medio del residuo fueron Gompertz ver-2 y Logístico ver-2 con 2.890 estos valores son menores que los publicados por Najari et al. (2007) en donde los animales evaluados por el modelo Gompertz generaron un cuadrado medio del residuo de 7.41 y los que fueron evaluados con el modelo Logístico de 13.37.

Para el AIC los modelos que mostraron el menor valor fueron Gompertz ver-2 así como Logístico ver-1 y 2 con 66.5 A diferencia del valor de 144.38 que propone Kohn et al. (2007).

Al igual que para el AIC, los modelos que generaron los menores valores de BIC fueron Gompertz ver-2 y las versiones 1 y 2 del modelo Logístico con 69.3 el cual es un valor por debajo del que publica Posada y Noguera (2007) en donde los valores de BIC son de 97.62 y 126.26.

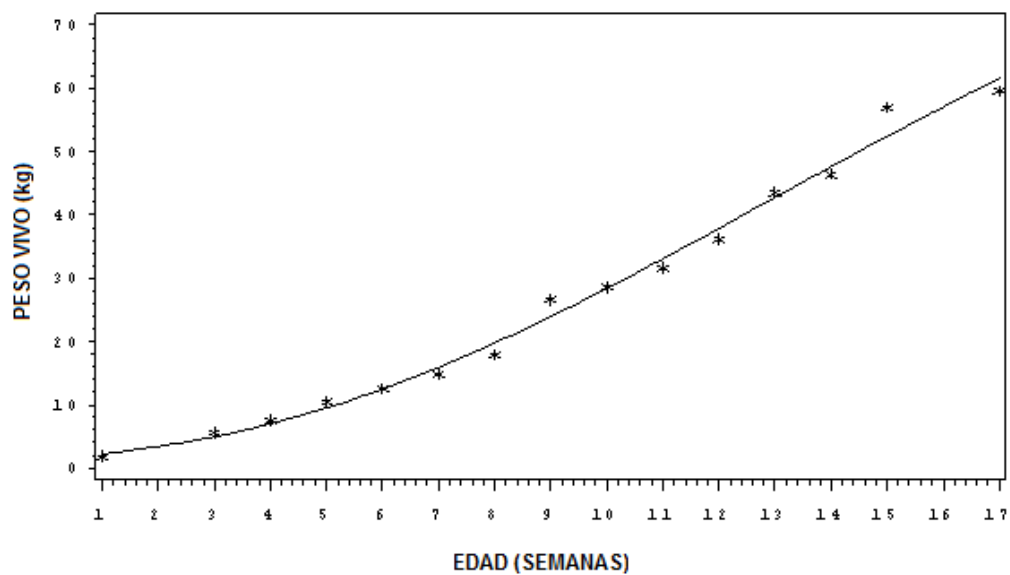


Figura 15. Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Gompertz ver-2 para la época de invierno.

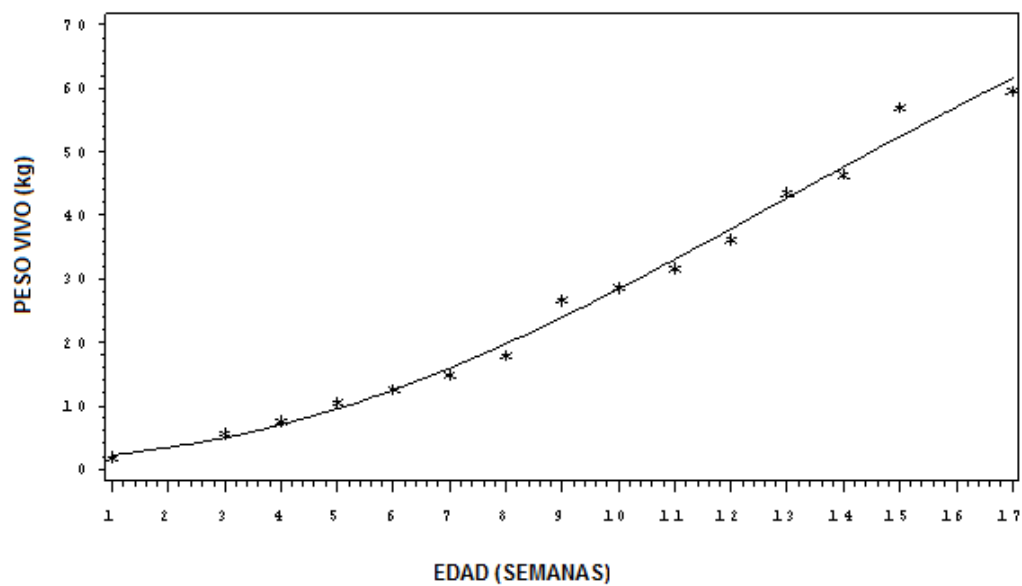


Figura 16. Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Logístico ver-1 para la época de invierno.

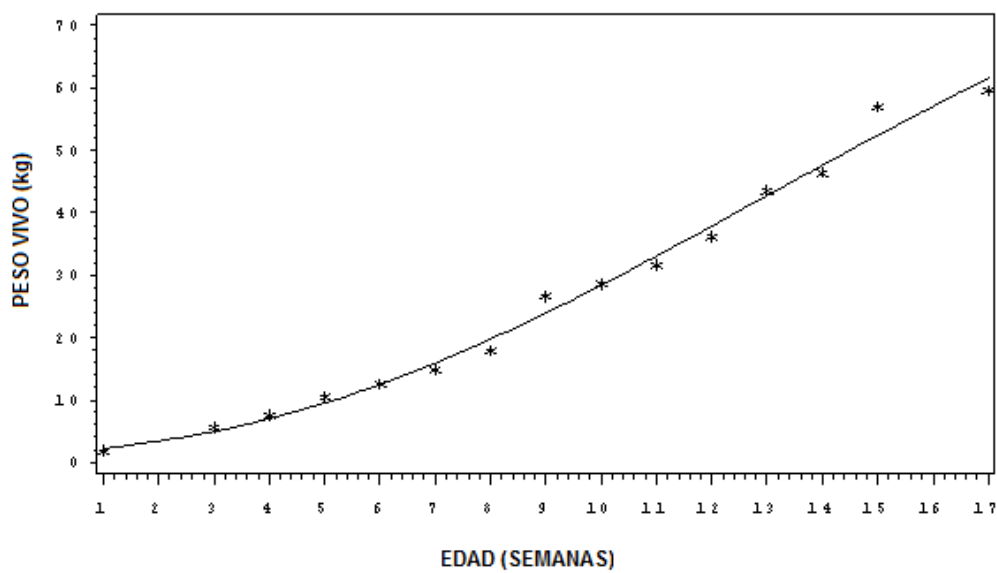


Figura 17. Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Logístico ver-2 para la época de invierno

Cuadro 7. Estimación de los parámetros de las funciones de crecimiento para animales en época de invierno, en cerdos

Función de crecimiento	parámetro	estimación	EE	AIC	BIC	
Gompertz ver-1	A	114.5	21.3846	67.0	69.8	2.9913
	b	4.4400	0.2553			
	k	0.1159	0.0182			
Gompertz ver-2	A	114.5	21.3847	66.5	69.3	2.8909
	b	1.3508	0.5271			
	k	0.1159	0.0182			
Bertalanffy	A	183.7	68.6501	67.0	69.8	2.9913
	b	0.8453	0.0267			
	k	0.0602	0.0172			
Logístico ver-1	A	114.5	21.3844	66.5	69.3	2.9913
	b	1.3507	0.5271			
	k	0.1159	0.0182			
Logístico ver-2	A	75.5594	5.9955	66.5	69.3	2.8908
	b	27.4500	3.8420			
	k	0.2778	0.0232			
Logístico ver-3	A	114.52	18.6734	67.0	69.8	2.9913
	b	4.4400	0.2284			
	k	0.1159	0.0159			

Los modelos que mostraron los mejores valores de A, b y k para el análisis de parámetros fueron Gompertz ver-2 y Logístico ver-1. Estos modelos generaron un valor de A de 114.5 valor que concuerda con el peso que alcanzan a la madurez los cerdos que proponen Kohn et al. (2007) de entre 160 y 220 kg. Ambos modelos obtuvieron un valor de b de 1.350 el cual está por encima del que publica Kohn et al. (2007) en donde el análisis de modelos generó un valor de b de 0.0544. Para el parámetro k estos modelos obtuvieron un valor de 0.115 estando por encima del que propone Schulín-Zeuten et al. (2007) en donde el valor de k es de entre 0.0029 y 0.0034.

Verano: los modelos que evaluaron a los animales en época de verano (Figuras 19, 20 y 21), generaron una R^2 de 99.72% (Cuadro 8) el cual es un valor más alto que el que propone Noguera et al. (2008) en donde la R^2 de su estudio es de 89.0%.

Los modelos con el menor valor del cuadrado medio del residuo fueron Gompertz versión 1 y 2 así como el Logístico 3 los cuales obtuvieron un valor de 6.914 a diferencia de los valores obtenidos por estos modelos en el estudio de Najari et al. (2007) en donde el modelo Gompertz generó un valor del cuadrado medio del residuo de 7.41 y el Logístico de 13.31.

Los modelos Gompertz versión 1, Bertalanffy y Logístico versión 3 fueron los que obtuvieron los valores más bajos de AIC con 93.9 los cuales son menores que los que obtuvo Posada y Noguera (2007) con 100.92.

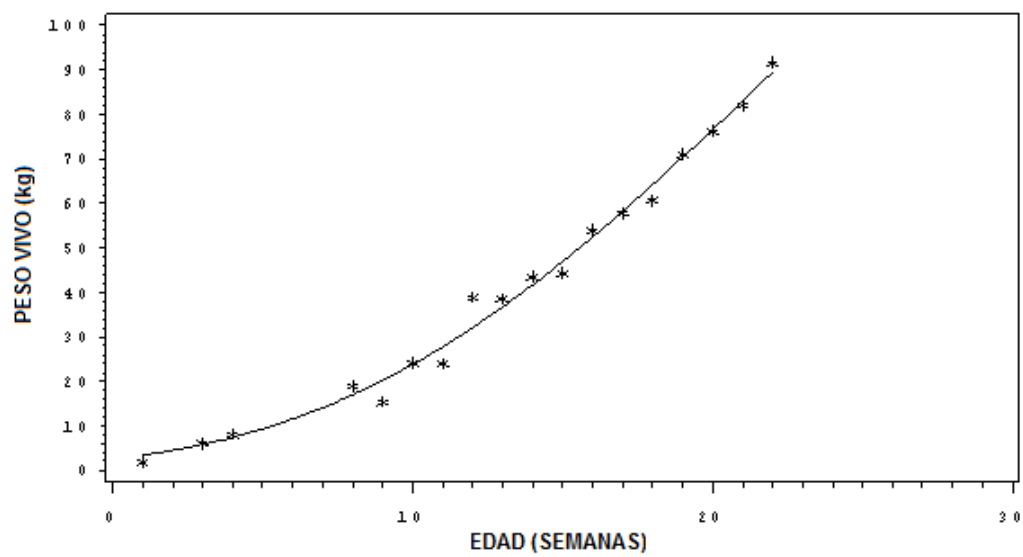


Figura 18. Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Gompertz ver-1 para la época de verano.

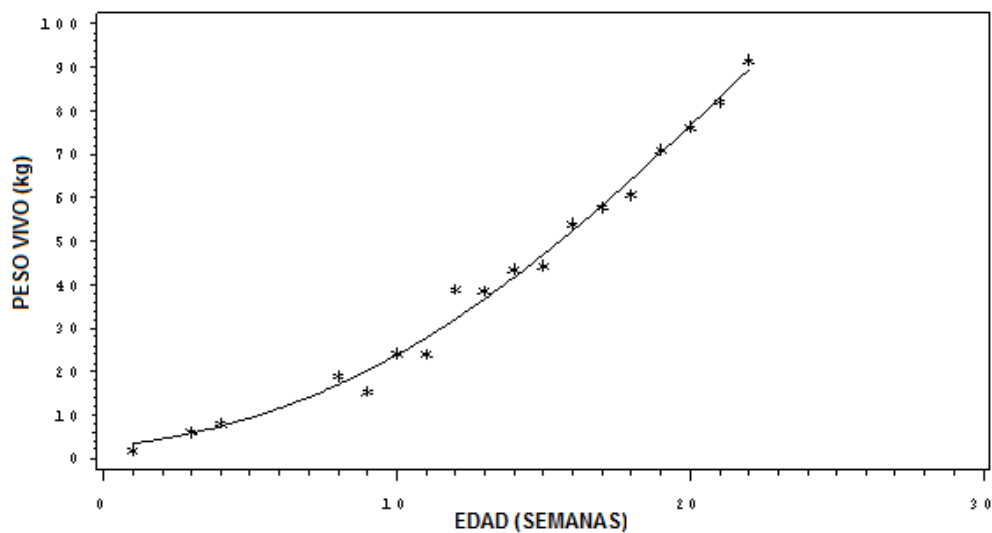


Figura 19. Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Bertalanffy para la época de verano.

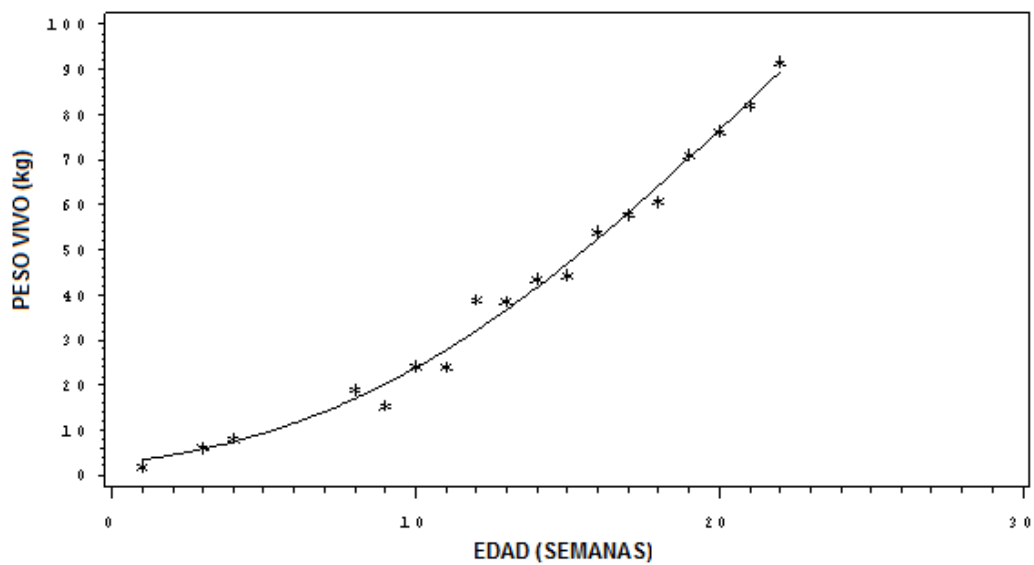


Figura 20. Crecimiento medio observado y predicho de aplicar el modelo Logístico ver-3 para la época de verano.

Cuadro 8. Estimación de los parámetros de las funciones de crecimiento para animales en época de verano, en cerdos

Función de crecimiento	parámetro	estimación	EE	AIC	BIC	
Gompertz ver-1	A	275.0	99.9902	93.9	97.4	6.9141
	b	4.6849	0.1760			
	k	0.0650	0.0140			
Gompertz ver-2	A	275.0	99.9898	97.1	100.7	8.2874
	b	2.5390	0.9483			
	k	0.0650	0.0140			
Bertalanffy	A	274.99	92.4022	93.9	97.4	6.9141
	b	2.5390	0.8653			
	k	0.06499	0.01287			
Logístico ver-1	A	275.0	99.9893	97.1	100.7	8.2874
	b	2.5390	0.9483			
	k	0.0650	0.0140			
Logístico ver-2	A	133.1	19.3721	97.1	100.7	8.2874
	b	30.3599	3.8711			
	k	0.1867	0.0199			
Logístico ver-3	A	274.99	92.4031	93.9	97.4	6.9141
	b	4.6849	0.1607			
	k	0.06499	0.01287			

Para BIC los mismos modelos fueron los que generaron los valores más bajos con 97.4 al igual que Posada y Noguera (2007) con 97.62.

Para el análisis de los parámetros, los modelos con los mejores valores de A, b y k fueron Gompertz ver-2, Bertalanffy y Logístico ver-1 con valores de A de 275.0 pero Gompertz 2 y Bertalanffy y de 274.99 para Logístico ver- 1. Estos valores están dentro de lo publicado por Solanes y Stern (2001) en donde se observa que los cerdos pueden alcanzar un peso a la madurez de entre 241.2 kg y 279.8 kg.

Estos modelos generaron un valor de b de 2.539. Este valor está por debajo de lo propuesto por Kohn et al. (2007) donde el valor de b es de 0.0544.

El valor de k para los modelos Gompertz ver-1 y Logístico ver-1 fue de 0.065 y de 0.064 para el modelo de Bertalanffy a diferencia de los que propone Schulin-Zeuten et al. (2007) con un valor de k de 0.0029.

CONCLUSIONES

Los modelos que presentaron el mejor ajuste de crecimiento en cerdos en general fueron Gompertz ver-1 y ver-2 y el modelo Logístico ver-1, para hembras el modelo Bertalanffy, para machos los modelos Gompertz ver-1 y Bertalanffy, para animales en época de invierno los modelos Gompertz ver-2 y Logístico ver-1 y ver-2, para animales en época de verano los modelos Gompertz ver-1 y Bertalanffy.

LITERATURA CITADA

- Abreu U.G., J.A. Cobuci, M.V.G.B. da Silva y J.R.B. Sereno. 2004. Uso de modelos no lineales para el ajuste de la curva de crecimiento de bovinos pantaneiros. Arch. Zootec. 53: 367-370.
- Acker, D. 1983. Animal Science and Industry. 3rd ed. Prentice-Hall, New Jersey 131-141.
- Agudelo G.D.A., M.M. Cerón y L.F. Restrepo. 2008. Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. Rev Colomb. Cienc. Pecu. 2008; 21:39-58.
- Alvarez M., H. Quintana, G. Mallo y M.E. Quinn. 1997. Crecimiento corporal de chinchilla (*chinchilla lanigera*) en un criadero comercial de la provincia de buenos aires (argentina). Arch. Latinoam. Prod. Anim. 5 (1): 456-458.
- Baker, D.H. 1997. Ideal amino acid profile for swine and poultry and their application in feed formulation. Biokyowa Tech. Rev. 9: 1-24.
- Bastianelli D. and D. Sauvant. 1997. Modelling the mechanisms of pig growth. Lifestock Production Science 51: 97-107.
- Bikker P., M.W.A. Verstegen, B. Kemp and M.W. Bosch. 1996. Performance and Body Composition of Finishing Gilts (45 to 85 Kilograms) as Affected by Energy Intake and Nutrition in Earlier Life: I. Growth of the Body and Body Components. J. Anim. Sci. 74: 806–816.
- Bogart, R., and R.E. Taylor. 1983. Scientific Farm Animal Production. 2nd ed. Macmillan Pub. Co. New Yorck. 109-118.
- Brown J.J.E., H.A. Fitzhugh and T.C. Cartwright. 1976. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships i n cattle. J. Anim. Sci. 42 (4): 1-9.
- Campadabal C. 1992. Alimentación de cerdos de mercado. Guía técnica para productores de cerdos. México. Edit. Fittacori. Pp. 1-4.
- Cancellon, A.1991. Tratado de porcicultura. La canal y la carne porcina. Barcelona, España. Mundi–Prensa. Pp 382.
- Chiba L.I., A.J. Lewis and E.R. Pero. 1991. Amino Acid and energy interrelationships in pigs weighing 20 to 50 kilograms: I. Rate and efficiency of weight gain. J. Anim. Sci. 69:694-707.

- Cirias J. y C. Garces. 1996. El cebo intensivo en ganado porcino. In: Buxadé, C. Zootecnia. Bases de producción animal, tomo VI. Porcinocultura intensiva y extensiva. Madrid, España. Mundi-Prensa. Pp 382.
- Delgadillo C., L.O. Reyes, V.H. Montaldo. 2009. Caracterización de la curva de crecimiento del ciervo rojo (*Cervus elaphus scoticus*) en el centro de México. Tec. Pecu. Mex ;47(1):117-123.
- Eisen, E.J. 1974. Results of growth curve analyses in mice and rats. J. Anim. Sci. 42 (4):1008-1023.
- Estevez, K. 2001. Comparación entre el primer y segundo ciclo productivo del cebadero La Virana. ISCAH.
- Fitzhugh, H. 1976. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. J. Anim. Sci. 42 (4): 1036-1051.
- Flores J.A. y A. Agraz. 1987. Ganado porcino, cría, explotación, enfermedades e industrialización. Editorial Limusa cuarta edición.
- Goerl K.F., S.J. Eilert, R.W. Mandigo, H.Y. Chen and P.S. Miller. 1995. Pork Characteristics as Affected by Two Populations of Swine and Six Crude Protein Levels. J. Anim. Sci. 73: 3621–3626.
- Goyache, F. 2005. Crecimiento, consumos y medidas corporales. En "Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal carne y grasa) en los rumiantes", 11-23. Cañeque, V. y Dañudo, C. Eds. Monografías INIA: Serie ganadera, Madrid, Pp 448 .
- Gu, Y., A.P Schinckel and T.G. Martin. 1992. Growth, development, and carcass composition in five genotypes of swine. J. Anim. Sci. 70: 1719–1729.
- Hansson Y. 1974. Effect of sex and weight on growth feed efficiency and carcass characteristics of pigs. I. Growth rate and feed efficiency of boars, barrows and gilts. Swed.J. Agric. Res: 209–218.
- Heras T.J., M. Osorio, C. Segura. 2008. Crecimiento de becerros en un sistema de doble propósito en el trópico húmedo de México. Fcv-luz 18 (2): 170-174.
- Kebreab E., M. Schulin-Zeuthen, S. Lopez, J. Soler, R.S. Dias, C.F.M. De Lange and J. France. 2007. Comparative evaluation of mathematical functions to describe growth and efficiency of phosphorus utilization in growing pigs. J. Anim Sci. 85:2498-2507.
- Köhn F., A.R. Sharifi and S. Simianer. 2007. Modeling the growth of the Goettingen minipig. J. Anim. Sci. 85:84–92.
- Kouba M., M. Bonneau, and J. Noblet. 1999. Relative development of subcutaneous, intermuscular, and kidney fat in growing pigs with different body compositions. J. Anim. Sci. 77:622-629.

- Kusec G., U. Baulain, E. Kallweit and P. Glodek. 2006. Influence of MHS genotype and feeding regime on allometric and temporal growth of pigs assessed by magnetic resonance imaging. *Livest. Prod. Sci.* 110: 89–100.
- López S., J. France, W. J. J. Gerrits, M. S. Dhanoa, D. J. Humphries, and J. Dijkstra. 2000. A generalized Michaelis-Menten equation for the analysis of growth. *J. Anim. Sci.* 78:1816–1828.
- McKay R. 1994. Prewaning growth of yorkshire, hampshire, and landrace pigs. *J. Anim. Sci.* 72:56-61.
- McGlone J. and W. G. Pond. 2002. *Pig Production: Biological Principles and Applications*. Edit. Thomson Delmar Learning. USA. Chapters 8,9.
- Malhado, C.H.M., A.A. Ramos, P.L.S. Carneiro, J.C. Souza, F.S. Wechsler, J.P. Eler, D.M.M.R. Azevedo y J.R.B. Sereno. 2008. Modelos no lineales para describir el crecimiento de bufalinos de la raza murrah. *Arch. Zootec.* 57 (220): 497-503.
- Najari S., M.B. Hamouda, M. Djemali, G. Khaldi. 2007. Growth model adjustment of local goat population under pastoral conditions in Tunisian Arid Zone. *J. Agrom.*, 6 (1):61-67.
- Nielson, B.L., A.B. Lawrence, and C.T. Whittemore. 1995. Effect of group size on feeding behaviour, social behaviour, and performance of growing pigs using single space feeders. *Livest. Prod. Sci.* 44:73-85.
- Noguera R.R., R.L. Pereira y C.E. Solarte. 2008: Comparación de modelos no lineales para describir curvas de crecimiento en cuyes (*Cavia porcellus*) desde el nacimiento hasta la edad de sacrificio. *Livest. Res. Rural Develop.* 20 (79).
- Posada S.L y R.R Noguera. 2007. Comparación de modelos matemáticos: una aplicación en la evaluación de alimentos para animales. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 20:141-148.
- Quiniou, N., and J. Noblet. 1995. Prediction of tissular body composition from protein and lipid deposition in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 73:1567-157.
- Robison, O. W. 1974. Lean Growth Selection Strategies. North Carolina State University Lean Growth Modeling Symposium, pp. 83-93.
- Schinckel A. P. and C.F.M De Lange. 1996. Characterization of Growth Parameters Needed as Inputs for Pig Growth Models. *J. Anim. Sci.* 1996. 74:2021–2036.
- Schinckel, A.P and M.E Einstein. 1995. Concepts of pig growth and composition. In: *Purdue swine day*. Purdue University . p.118.

- Schulin-Zeuthen M. , E. Kebreab, J. Dijkstra, S. Lopez, A. Bannink, H. Darmani, J. Thornley and J.H. M France. 2007. A comparison of the Schumacher with other functions for describing growth in pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 05: 17.
- Solanes, F. X. and S. Stern. 2001. Estimated mature weights and growth curves for Large White sows. *Animal Sci.* 51: 142–147.
- Trenkle, A. and D. N. Marple. 1983. Growth and development of meat animals. *J. Anim. Sci.* 57 (2) 273-283.
- Wagner J. R., A.P. Schinckel, W. Chen, J.C Forrest, and B.L. Co. 1999. Analysis of Body Composition Changes of Swine During Growth and Development. *J. Anim. Sci.* 77:1442–1466.
- Whittemore C. T. 1986. An approach to pig growth modeling. *Anim. Sci.* 63:615-621.
- Whittemore y Elsley. 1987. Alimentación práctica del cerdo. Editorial Aedos. Pp. 17.
- Wiseman T. Genetic and gender influences on the changing phenotypic total body component mineral compositions of pigs from 20 to 125 kilogram body weight. 2006. Tesis Doctoral.
- Wodd, J. and J. Ritey. 1982. Comparison of boars and castrate for bacon production. 1. Growth data and carcass and loit composition. *Anim. Prod.* 35:55–63.