

# Estudio de la curva de crecimiento de fetos bovinos usando mediciones por ultrasonido

Val-Arreola D.<sup>1</sup>✉, Conejo-Nava J. J.<sup>2</sup>, Olivo-Zepeda B. I.<sup>2</sup>, Toscano-Torres I. A.<sup>2</sup>, Salas-García B.<sup>2</sup> y Tena-Martínez M. J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Carretera Morelia-Zinapécuaro km 9.5. Tarímbaro, Michoacán. 58880.

<sup>2</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Carretera Morelia-Zinapécuaro km 9.5. Tarímbaro, Michoacán. 58880.

## Resumen

Dado el desarrollo de la ultrasonografía en la producción bovina, en particular en el área de la reproducción, así como la importancia y las implicaciones de manejo que tiene el poder disponer de una adecuada caracterización de la curva de crecimiento de los fetos bovinos. Este estudio buscó aplicar tres modelos de crecimiento (Logístico, Gompertz y Exponencial). Se utilizaron 21 vacas con peso vivo mayor a 340 kg, en aquellos animales que no retornaron a estro posteriormente a la inseminación artificial se realizó el diagnóstico de gestación mediante la ecografía transrectal a partir de los 35 días a ésta y después cada 30 días aproximadamente. En dicho diagnóstico se midió la longitud de la nuca a la cadera (LNC) y el área de la sección transversal media del cuerno grávido (ASTM). La bondad de ajuste se realizó a través del coeficiente de determinación, así como el promedio absoluto del error (PAE) y el cuadrado medio del error (CME); la evaluación de los residuales empleando la prueba de independencia de errores; y, la prueba de Kolmogorov-Smirno, así como la de Shapiro-Wilk para probar la distribución normal de los errores. El modelo que mejor ajusto los datos fue el modelo Gompertz seguido del Exponencial, aunque los parámetros del Gompertz no tuvieron un significado biológico.

**Palabras clave:** Curvas de crecimiento, ultrasonido, Gompertz, Logístico

## Abstract

The importance of the development of the ultra-sonography during the last decade applied on animal production and, the importance to have a better knowledge of fetus growth curve. This study evaluated three growth models (Logistic Gompertz and Exponential). Data from 21 adult Holstein cows were collected, from those animals that did not exhibit estrous 35 days post IA and during approximately every 30 day; data from crown-rump longitude (LNC) and area of the transversal uterus section (ASTM) were measured. The goodness of fit was evaluated by using  $r^2$  coefficient, mean absolute error (PAE) and mean squared error (CME). The residuals were evaluated by error independent test and error normality distribution using Kolmogorov-Smirno and Shapiro-Wilk tests. The model that better fit the observed data was the Gompertz followed by Exponential, although parameters of Gompertz model had not a biological meaning.

**Keywords:** Growth curves, ultrasound, Gompertz, Logistic

## Introducción

Una de las áreas que más se ha beneficiado del desarrollo de la tecnología de la ultrasonografía en modo B de tiempo en la última década, es la reproducción del ganado mayor (Ribadu y Nakao, 1999). El uso de la ultrasonografía transrectal para el diagnóstico de preñez, el diagnóstico asociado a infecciones uterinas y ováricas, además de los beneficios obtenidos por la determinación temprana del sexo de las crías, así como el grado de invasión de la técnica se han planteado como las principales características en relación con la palpación rectal (Beal *et al.*, 1992; Bergamashi *et al.*, 2004). La determinación de la gestación, edad y sexo de los fetos, en particular a etapas tempranas, es de gran importancia para el éxito de los programas reproductivos y genéticos, tanto de la ganadería de carne como la de producción de leche (Bellenda, 2003). La importancia en el estudio del patrón de crecimiento de las crías de ganado mayor es debido en primer lugar a la relación que existe con los requerimientos

nutricionales tanto de la madre como de la misma cría; así mismo la evaluación del crecimiento permite valorar las posibles complicaciones que pudieran afectar la viabilidad de la cría al momento del parto (Ferrell *et al.*, 1976; Funston *et al.*, 2010). Los estudios en donde se evalúa el crecimiento del feto bovino son en su mayoría estudios de fotometría en donde se han medido y correlacionado diversas estructuras anatómicas para evaluar el desarrollo de diversos órganos a lo largo de la gestación de los bovinos (Kahn, 1989; Bergamaschi *et al.*, 2004; Kheradmand *et al.*, 2005), sin embargo, son pocos los trabajos en donde se evalúan las curvas de crecimiento que mejor describen los datos observados de crecimiento de los fetos bovinos (Bergamaschi *et al.* 2004). Aunque el crecimiento animal puede ser descrito por medio de funciones matemáticas, su empleo depende de su bondad de ajuste, la interpretación biológica de sus parámetros y, la dificultad de la aplicación informática y la evaluación de los parámetros ambientales; las funciones que más se han empleado son la Gompertz, Verhulst, Brody, Bertalanffy y Richards (Agudelo-Gómez *et al.*, 2007). El objetivo del presente trabajo es comparar tres curvas de crecimiento que por su simplicidad puedan ajustar los datos de crecimiento de fetos de hembras bovinas en condiciones de sistemas ganaderos a pequeña escala.

✉ **Autor de correspondencia:** Val-Arreola D. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Carretera Morelia-Zinapécuaro km 9.5. Tarímbaro, Michoacán. 58880. email: dval\_@hotmail.com

## Materiales y métodos

Se utilizaron 21 vacas Holstein reproductivamente activas con peso vivo mayor a 340 kg, (observaron estros y posteriormente fueron inseminadas de octubre 2010 a marzo 2011). La selección de animales consistió primero en la evaluación del aparato reproductor mediante palpación transrectal; se identificaron estructuras ováricas (folículos, cuerpos lúteos y quistes ováricos). A los 21 días posteriores al servicio se observaron los animales para evaluar su posible retorno al estro, en aquellos animales que no retornaron a estro, se realizó el diagnóstico de gestación mediante la ecografía transrectal a partir de los 35 días posteriores a la inseminación artificial, después cada 30 días aproximadamente.

El diagnóstico de gestación se realizó se utilizando un ecógrafo de la marca SIUI CTS-200V con un transductor lineal de 5 MHz; el cual se hacía vía transrectal, el transductor previamente a la introducción al recto se lubricaba con gel para ultrasonido. La confirmación de la gestación se realizó a partir de los 45 a 80 días a través del ecógrafo y por palpación rectal identificando tanto la vesícula amniótica y el crecimiento del embrión. En dicho diagnóstico se midió la longitud de la nuca a la cadera (LNC) y el área de la sección transversal media del cuerno grávido (ASTM), considerando lo observado por Kahn (1989) en donde estas medidas son las que menor variación observaron y se correlacionaron mejor con la edad del embrión.

Las mediciones se analizaron por medio de ecuaciones no lineales que usualmente son usadas para describir el comportamiento del crecimiento en el horizonte del tiempo y que han sido empleadas en diversos campos de la biología. Se utilizaron los modelos determinísticos Logístico (1), Gompertz (2) y Exponencial (3). En donde: *c* es el tamaño final del feto, *x<sub>t</sub>* es la variable del tiempo, *b* y *a* con constantes.

$$c/(1+b*\exp(-a*x_t)) \quad [1]$$

$$c*\exp(-b*\exp(-a*x_t)) \quad [2]$$

$$c*\exp(b*x_t) \quad [3]$$

El ajuste de dichos modelos se realizó a través del cálculo de cuadrados mínimos no lineales utilizando el algoritmo Levenberg-Marquardt del programa SPSS 16® para Windows®. La bondad de ajuste se realizó a través del coeficiente de determinación, así como el promedio absoluto del error (PAE)  $(\sum(y_i-\hat{y}_i)/n)$  y el cuadrado medio del error (CME)  $(\sum[y_i-\hat{y}_i]^2/n-p)$ , en donde *n* es el número de observaciones y *p* son el número de parámetros del modelo), de acuerdo a lo propuesto por Kvalseth (1985); la evaluación de los residuales empleando la prueba de independencia de errores en donde se asume que los errores son independientes; y, la prueba de Kolmogorov-Smirno, así como la de Shapiro-Wilk para probar la distribución normal de los errores.

## Resultados

En el **Tabla 1** se pueden observar los resultados de los análisis para los tres modelos que se utilizaron en el presente trabajo. Los modelos que mejor explicaron la variabilidad de los datos asociados al ASTM son el modelo Gompertz y el Exponencial, así mismo son los que observaron residuales más pequeños y uniformes. El modelo Gompertz observa mejores valores. El modelo Exponencial fue más consistente en relación al valor de sus parámetros, la independencia de sus errores y su aproximación a la distribución normal. Estos resultados se pueden corroborar en la **Figura 1**, en donde tanto el modelo Gompertz como el Exponencial ajustan mejor los datos observados. No obstante en etapas tempranas de la gestación los tres modelos no pudieron ajustar los datos.

**Tabla 1.** Parámetros, valores de bondad de ajuste y evaluación de residuales de los modelos Logísticos, Gompertz y Exponencial en el ajuste de los datos del área total de la sección transversal media del útero grávido en bovinos

	Logística	Gompertz	Exponencial
a	0.035 (E.E.= 0.029)	-0.028 (E.E.= 0.019)	
b	15.431 (E.E.= 11.756)	-0.183 (E.E.= 0.349)	0.029 (E.E.= 0.004)
c	12.701 (E.E.= 16.655)	1.353 (E.E.= 0.945)	0.727 (E.E.= 0.198)
r <sup>2</sup>	0.780	0.859	0.832
Promedio absoluto del error (PAE)	-0.082	0.0003	0.027
Cuadrado medio del error (CME)	1.121	0.720	0.857
Prueba de independencia de residuales (Z)	-0.710 (sig. = 0.478)	-0.101 (sig. = 0.919)	-0.521 (sig.= 0.603)
Prueba de Kolmogorov-Smirnov	0.210 (sig. = 0.075)	0.183 (sig. = 0.190)	0.220 (sig.= 0.049)
Prueba de Shapiro-Wilk	0.870 (sig. = 0.034)	0.897 (sig. = 0.084)	0.904 (sig.= 0.108)

**Tabla 2.** Parámetros, valores de bondad de ajuste y evaluación de residuales de los modelos Logísticos, Gompertz y Exponencial en el ajuste de los datos de la longitud nuca-cadera en fetos bovinos

	Logística	Gompertz	Exponencial
a	0.35 (E.E.= 0.069)	-0.091 (E.E.= 0.023)	
b	9.646 (E.E.= 15.568)	-0.001 (E.E.= 0.002)	0.045 (E.E.= 0.008)
c	5.925 (E.E.= 17.971)	1.230 (E.E.= 0.189)	0.152 (E.E.= 0.090)
r <sup>2</sup>	0.517	0.925	0.760
Promedio Absoluto del error (PAE)	-0.184	0.0024	- 0.116
Cuadrado medio del error (CME)	1.712	0.267	0.785
Prueba de independencia de residuales (Z)	-0.710 (sig. = 0.478)	0.000 (sig. = 1.000)	-0.952 (sig.= 0.341)
Prueba de Kolmogorov-Smirnov	0.258 (sig. = 0.008)	0.145 (sig. = 0.200)	0.125 (sig.= 0.200)
Prueba de Shapiro-Wilk	0.662 (sig. = 0.000)	0.950 (sig. = 0.530)	0.952 (sig.= 0.549)

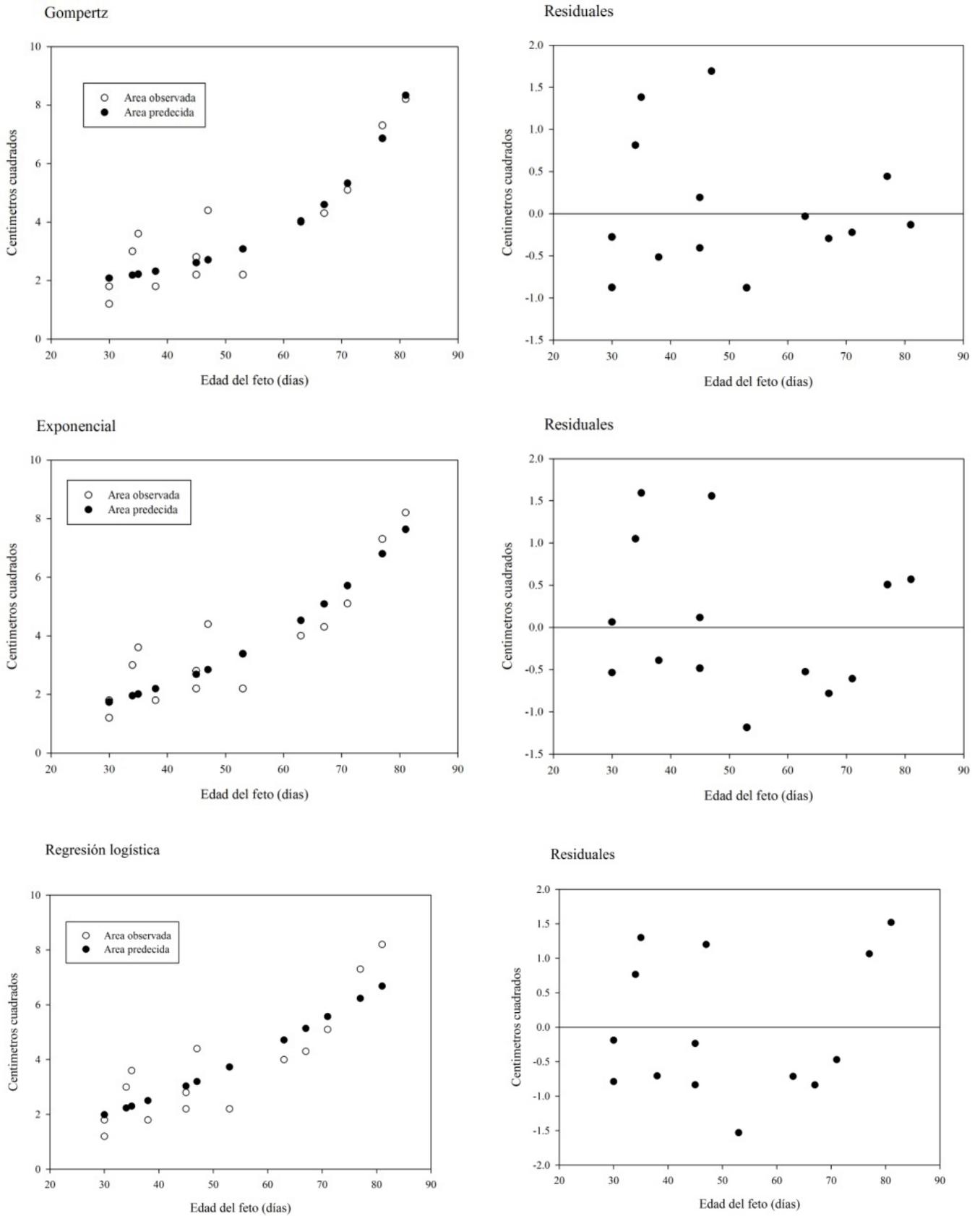


Figura 1. Área (cm<sup>2</sup>) observada de la sección transversal media del cuerno grávido de bovinos, área ajustada, y residuales con los modelos Logístico, Gompertz y Exponencial.

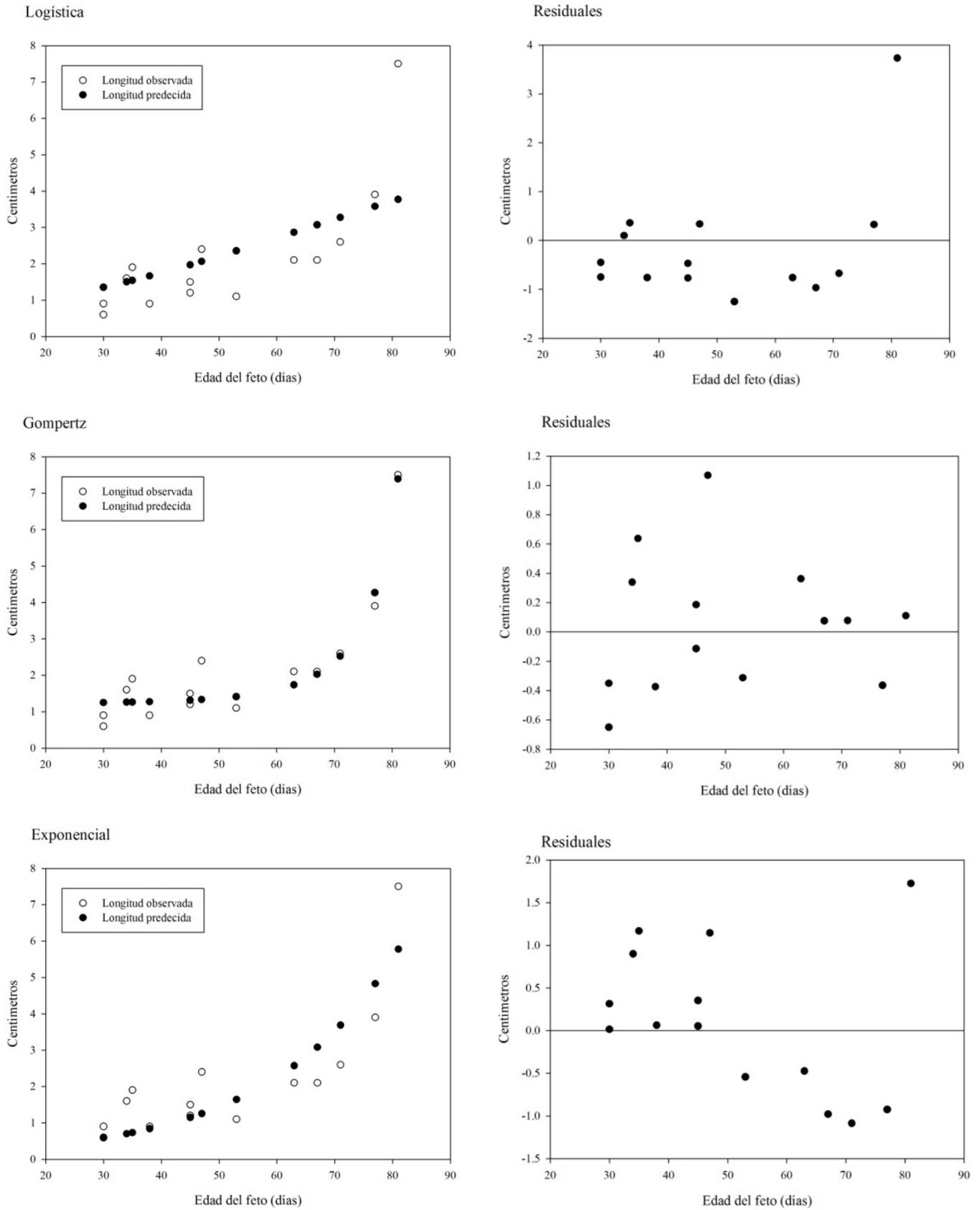


Figura 2. Longitud de la nuca a la cadera (cm) observada en fetos bovinos, longitud ajustada, y residuales con los modelos Logístico, Gompertz y Exponencial.

En relación a la LNC, el modelo que mejor explica la variación de los datos y los valores de independencia y aproximación normal es el modelo Gompertz, seguido del modelo Exponencial (Tabla 2). En la Figura 2, se observa en el caso del Modelo Gompertz que es el que mejor se ajusta a los datos observados. Al igual que en el caso anterior, el ajuste de datos en etapas tempranas de gestación observadas fue limitado para los tres modelos.

## Discusión

Aunque el modelo Gompertz fue el que observó los mejores valores en términos de explicar mejor la variabilidad de los datos y sus residuales observaron independencia y una aproximación normal; sus parámetros no tienen un significado biológico tal como otros autores consideran como elemental en un modelo determinístico (France y Thornley, 2007). De acuerdo a lo señalado por Charagu (1997), en estos modelos el parámetro  $c$ , se le considera como el valor final alcanzado de la talla de los animales; el parámetro  $b$ , como la proporción de la asíntota del valor final establecido por los valores finales del tiempo  $x$ ; el valor  $a$ , representa la constante a la cual la función logarítmica del tamaño del individuo va cambiando. De tal manera, los valores negativos obtenidos por el modelo Gompertz, no parecen encuadrar por lo señalado por dicho autor. Los tres modelos han sido empleados en diversos estudios para describir el crecimiento de los animales como es el caso de Brown *et al.* (1976) al estudiar las curvas de crecimiento del ganado de carne en Texas empleando los modelos Logísticos y Gompertz los cuales de manera consistente sobrestimaban los valores de peso de los animales; en el presente estudio se observó en el caso del modelo Gompertz de manera muy ligera (Tabla 1 y 2). Ribeiro (2005) utilizó los modelos Logístico y Gompertz para analizar el crecimiento de langostinos, ranas, ovejas, cabras, conejos, pollos, cerdos y bovinos en donde observa que el modelo Gompertz es el más adecuado para pollos, cerdos y bovinos, aunque el Logístico era de los más versátiles para ser aplicado en todas las especies que incluyeron este estudio. Retomando el trabajo de Brown *et al.* (1976), ellos consideran que el modelo Gompertz requiere que sus parámetros se interpreten de manera diferente a los demás, dado que considera que los parámetros  $b$  y  $a$  tienen un propósito dual, ya que son empleados para estimar el peso final y la edad del animal a la inflexión ocasionando que este modelo sobrestime los valores predichos a etapas tempranas del crecimiento. Agudelo-Gómez (2007) considera al crecimiento de los animales como una combinación de factores genéticos y ambientales, en donde señala la conveniencia de evaluar estos modelos de crecimiento utilizando algoritmos de modelos mixtos en donde se consideran los efectos fijos y aleatorios que afectan la expresión de los parámetros de dichos modelos, y por lo mismo permite evaluar la variabilidad de las curvas entre los individuos que integren el estudio, así mismo considera la posibilidad de aplicar el criterio de información Akaike y el criterio de información Bayesiano, en donde se busca contrastar a los modelos en función de su número de parámetros.

De tal manera aunque el modelo Gompertz observó parámetros poco consistentes en una interpretación biológica, pero fue el que mejor describió los datos y es de los que más han sido empleados en el estudio de las curvas de crecimiento animal. En la literatura no se identificaron estudios que evalúen la curva de crecimiento de fetos bovinos utilizando modelos

no lineales, los pocos trabajos reportados emplean regresiones lineales (Noakes, 1997); sin embargo es importante considerar las ventajas que ofrecen los modelos no lineales con respecto a los lineales como es la interpretación biológica de los parámetros, la multicolinealidad frecuentemente observada con los últimos, y la flexibilidad para ajustar los datos de diversa índole de los primeros (Agudelo-Gómez *et al.* 2007). Es importante el seguir evaluando estos modelos bajo el marco de los modelos mixtos en donde se pueda considerar el efecto, por ejemplo, del semental que ha sido sugerido que pudiera afectar la tasa del crecimiento Charagu (1997), pero también es importante revisar el efecto del estado nutricional de los animales y la época del año.

## Referencias

- Agudelo-Gómez DA, Cerón-Muñoz MF, Restrepo LF (2007) Modelación de funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. *Rev Col Cienc Pec.* 20:157-173
- Beal WE, Perry RC, Corah LR (1992) The use of ultrasound in monitoring reproductive physiology of Beef Cattle. *J Anim Sci.* 70:924-929
- Bellenda OG (2003) La ecografía aplicada a la reproducción en especies de interés productivo. *Sitio Argentino de Producción Animal. Documento en Línea.* [http://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/ecografia\\_ultrasonido/11-ecografia\\_aplicada.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/ecografia_ultrasonido/11-ecografia_aplicada.pdf). Fecha de consulta 01/07/2011
- Bergamaschi MACM, Vicente WRR, Barbosa RT, Machao R, Marques JA, Freitas AR (2004) Ultrasound assessment of fetal development in Nelore Cows. *Arch Zootec.* 53:371-374
- Brown JE, Fitzhugh HR, Cartwright TC (1976) A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *J Anim Sci.* 42:810-818
- Charagu PK (1997) *Economic efficiency of Canadian and New Zealand sires in Canadian and New Zealand dairy herds and its relationship with other traits.* PhD Thesis. The University of British Columbia. CANADA
- Ferrel CL, Garret WN, Hinman N (1976) Growth, development and composition of the udder and gravid uterus of beef heifers during pregnancy. *J Anim Sci.* 42:1477-1489
- France J, Thornley JHM (2007) *Mathematical Models in Agriculture: Quantitative methods for the plant, animal and ecological science.* 2<sup>nd</sup> Ed. CABI International pp 237
- Funston RN, Larson DM, Vonnahme KA (2010) Effects of maternal nutrition on conceptus growth and offspring performance: Implications for beef cattle production. *J Anim Sci.* 88(E. Suppl.):E205-E215
- Kahn E (1989) Sonographic fetometry in bovine. *Theriogenology.* 31:1105-1121
- Kheradmand A, Batavani RA, Farrokhi-Ardabili F (2005) Comparative sonographic fetometry in dairy cattle. *Iranian J Veterinary Res.* 6:47-51
- Kvalseth TO (1985) Cautionary note about R2. *Amer Statistician.* 41:6-10
- Noakes DE (1997) *Fertility and Obstetrics in Cattle.* Second edition. Blackwell Science. U. K. pp146
- Ribadu AY, Nakao T (1999) Bovine Reproductive Ultrasonography: A Review. *J. Reprod Develop.* 45: 13- 28
- Ribeiro FA (2005) Curvas de Crescimento na Producao Animal. *R Bras Zootec.* 34:786-795