

Curvas de crecimiento de hembras en desarrollo Siboney de Cuba, hasta 18 meses de edad

Á.C. Alonso¹, Bertha Chongo², A. Zamora², Verena Torres², Aida C. Noda² y F. Acosta¹

¹ Dirección Técnica Desarrollo, Empresa Pecuaria Genética "Camilo Cienfuegos"

² Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de Las Lajas, Mayabeque

Correo electrónico: informatico@geleca.co.cu

Se modelaron las curvas de crecimiento, de 0 a 18 meses de edad, de 1338 hembras en desarrollo Siboney de Cuba, en el período 2007-2009, con pesos registrados a 0, 4, 8, 12 y 18 meses. Las curvas se dividieron según la época de nacimiento, en poca lluviosa y lluviosa. La base de datos se obtuvo de la información registrada en software SISCOP para los años de estudio. Se probaron siete variantes de modelos de regresión (lineal, lineal cuadrático, lineal cúbico, logarítmico cuadrático, logístico, Gompertz y Richards), para el análisis de los datos, y se estimaron las ganancias diarias por el método de los mínimos cuadrados. Como criterios estadísticos para selección del modelo de mejor ajuste, se utilizó el coeficiente de determinación (R^2), los parámetros de modelos (α , β , γ , δ), el cuadrado medio del error (CMe), el error estándar de los modelos ($E(\alpha)$, $E(\beta)$, $E(\gamma)$, $E(\delta)$), la significación del modelo y el análisis de residuos. Para las hembras nacidas en época lluviosa, los R^2 oscilaron entre 0.94 y 0.97, mientras que para las que nacieron en la poca lluviosa, entre 0.95 y 0.98. Se concluye que el modelo de mejor ajuste fue el logarítmico cuadrático, con $R^2 = 0.98$ (nacidas en época de pocas lluvias) y 0.96 (época de lluvias), con $P < 0.001$ en todos los casos. Los mejores incrementos se registraron en animales nacidos en la época poca lluviosa y entre años. El mejor comportamiento lo tuvo el 2007.

Palabras clave: *modelos matemáticos, curvas de crecimiento, peso vivo, bovinos*

La producción ganadera resulta vital para el sustento y la seguridad alimentaria de la población, de modo que pueda cubrir las exigencias per cápita de 91 g de proteínas diarias (González 2009), según la demanda gradual de productos de origen animal que requiere el país. Esta podrá alcanzarse a partir de producciones pecuarias eficaces -sobre bases rentables y eficientes- (Benítez *et al.* 2009).

Las estadísticas informadas a partir del 2005 y hasta 2010, demuestran crecimiento anual sostenido en la producción de leche en Cuba (MINAG 2011). El Siboney de Cuba (5/8 H - 3/8 C) es una de las razas con las que se trabaja para alcanzar estos propósitos, pues cuenta con amplia distribución en la Isla, con 43.6 % del total de la masa lechera (Dirección Nacional de Genética 2011), cifras aceptables en lo que respecta a tasas de crecimiento, además de una temprana incorporación con buenos niveles de prolificidad (López 1983, López *et al.* 1986 y Gregorich 1992). Es el ganado en desarrollo, la garantía de continuidad para mantener estos crecimientos productivos.

Poder predecir y describir las curvas de crecimiento en los bovinos, ayuda a la caracterización de los sistemas de producción y razas de animales. A la vez, permite suministrar información útil para el desarrollo de estrategias de selección (Ramírez 2007). En América del Sur, Duarte (1975), Elías (1998), Oliveira (2000) y Abreu *et al.* (2004), y en Europa, Perotto *et al.* (1997) y Mazzini (2001) han trabajado en la modelación del crecimiento de diferentes razas. En Cuba, trabajos como los de Fernández (2004), destinados a la modelación de la curva de lactancia, y las investigaciones de Alonso (2009), en hembras bovinas, hasta los 18 meses de

edad, han permitido describir algunos factores que comprometen el comportamiento actual de esta raza en formación.

Este estudio tuvo como objetivo, estimar las curvas de crecimiento hasta 18 meses de edad, en hembras Siboney de Cuba, a partir de los pesajes de control realizados al nacer, a los 4, 8, 12, y 18 meses, con la aplicación de modelos de regresión lineal y no lineal, para el 2007-2009.

Materiales y Métodos

Se utilizaron 1338 registros de hembras nacidas en el período 2007-2009, de la raza Siboney de Cuba, en la U.E.B "Loma de Candelaria", que pertenece a la Empresa Pecuaria Genética "Camilo Cienfuegos". Estos registros representan 27 % del total de animales inscritos en el período evaluado. Se obtuvieron del pesaje recogido en programa SISCOP (Caunedo 1992) durante las etapas de 0, 4, 8, 12 y 18 meses.

En una hoja de cálculo de Microsoft Excel, se organizaron para cada año, los datos extraídos del fichero PVV. sgh, donde se guardan los pesajes en las bases de datos del SISCOP. Como criterio para el análisis estadístico por año, se dividieron las hembras según la época en que nacieron, 784 terneras en la poca lluviosa (desde el 1 de noviembre al 14 de mayo), y 554 en la lluviosa (desde el 15 de mayo al 31 de octubre).

Para el análisis y procesamiento de los datos obtenidos, se probaron cuatro modelos de regresión lineal, y tres no lineales. Estos son los más utilizados para estimar el comportamiento animal, según Ratkowsky (1983):

Lineal:

Lineal: $y = \alpha + \beta (\text{edad})$

Lineal cuadrático: $y = \alpha + \beta (\text{edad}) + \gamma (\text{edad})^2$

Lineal cúbico: $y = \alpha + \beta (\text{edad}) + \gamma (\text{edad})^2 + \delta (\text{edad})^3$

Logaritmo cuadrático: $\text{Log } y = \alpha + \beta (\text{edad}) + \gamma (\text{edad})^2$

No lineales:

Logístico: $y = \frac{\alpha}{1 + \beta \cdot \exp[-\gamma(\text{edad})]}$

Gompertz: $y = \alpha \cdot \exp[-\beta \cdot \exp[-\gamma(\text{edad})]]$

Richards: $y = \alpha \cdot [1 + \beta \cdot \exp(-\gamma \cdot \{\text{edad}\})]$

donde:

y: PV o GMD

edad: edad del animal

α (α), β (β), γ (γ) y δ (δ): parámetros

Las estimaciones de los parámetros se determinaron por el método de los mínimos cuadrados, en el caso de regresión lineal, y por el método iterativo de Marquardt (1963), para los modelos no lineales (Logístico, Gompertz y Richards).

Los criterios estadísticos para la selección de los modelos de mejor ajuste se siguieron según los indicadores descritos por Guerra *et al.* (2002 y 2003) y Fernández (2004):

1. Coeficiente de determinación (R^2)
2. Parámetros de modelos (α , β , γ , δ)
3. Cuadrado medio del error (CME)
4. Error estándar de los parámetros del modelo $EE(\alpha)$, $EE(\beta)$, $EE(\gamma)$, $EE(\delta)$
5. Significación del modelo
6. Análisis de residuo

La información recopilada se procesó en el paquete estadístico SPSS versión 11.5.1 (2002).

Resultados y Discusión

De los modelos evaluados (lineal, lineal cuadrático, lineal cúbico, logarítmico cuadrático, Gompertz, logístico y Richards), se descartaron los de regresión no lineal, ya que no presentaron ajuste significativo al PV.

Los resultados de los análisis de regresión lineal para cada época, en los años 2007-2009, se presentan en las tablas 1, 2, y 3. Para mayor precisión del modelo apropiado en este tipo de estudio, se recurrió a un análisis de la exactitud que acompaña a los PV en cada etapa evaluada por años, en el período comprendido entre 2007 y 2009.

Al comparar los modelos de comportamiento en PV entre épocas, para 2007, 2008 y 2009 (tablas 1, 2, y 3), se constató que todos exhibieron muy buen ajuste, debido a la flexibilidad que poseen (Arias *et al.* 2010), con coeficientes de determinación (R^2) similares y altos, que indican buena precisión en los estimados. Se suma a ello, lo acertado del uso de modelos lineales para describir el crecimiento en la hembra de esta raza. En ambas épocas, todos los modelos difirieron ($P < 0.001$).

Tabla 1. Resultados de ajuste de modelos para cada época de nacimiento de la hembra, año 2007

Modelo	Época poco lluviosa N=313										Época lluviosa N=183									
	α	β	γ	δ	R^2	CME	Sign	α	β	γ	δ	R^2	CME	Sign	α	β	γ	δ	R^2	Sign
Lineal	38.13	11.61			0.95	292.19	***	35.5	12.54			0.95	306.68	***						
EE (\pm)	0.95	0.09						0.74	0.07											
Sign. parámetro	***	***						***	***											
Lineal cuadrático	34.13	13.34	-0.09		0.95	281.47	***	34.43	13.0	-0.03		0.95	306.11	***						
EE (\pm)	1.15	0.31	0.02					0.92	0.24	0.01										
Sign. parámetro	***	***	***					***	***	***										
Lineal cúbico	33.49	13.34	-0.26	0.01	0.95	281.06	***	33.9	13.79	-0.15	-0.004	0.95	305.85	***						
EE (\pm)	1.23	0.73	0.11	-0.004				0.98	0.57	0.08	-0.003									
Sign. parámetro	***	***	*	ns				***	***	*	ns									
Logaritmo cuadrático	1.554	0.094	-0.003		0.97	0.03	***	1.56	0.09	-0.0026		0.97	0.0029	***						
EE (\pm)	0.003	0.001	0.00004					0.0028	0.0007	0.00004										
Sign. parámetro	***	***	***					***	***	***										

** $P < 0.05$ *** $P < 0.001$

Tabla 2. Resultados de ajuste de modelos para cada época de nacimiento de la hembra año 2008.

Modelo	Época poco lluviosa N= 211							Época lluviosa N=206						
	α	β	γ	δ	R ²	CMe	Sign	α	β	γ	δ	R ²	CMe	Sign
Lineal	31.54	11.58			0.95	304.1	***	37.1	11.06			0.94	283.17	***
EE (\pm)	0.91	0.09						0.87	0.08					
Sign. parámetro	***	***						***	***					
Lineal cuadrático	32.91	10.99	0.03		0.95	303.1	***	32.38	13.04	-0.11		0.94	268.92	***
EE (\pm)	1.12	0.09	0.02					1.05	0.27	0.01				
Sign. parámetro	***	***	*					***	***	***				
Lineal cúbico	32.5	11.61	-0.06	0.003	0.95	303.1	***	32.34	13.09	-0.12	0.0003	0.95	267.17	***
EE (\pm)	1.2	0.7	0.1	0.003				1.12	0.66	0.09	0.003			
Sign. parámetro	***	***	ns	ns				***	***	ns	ns			
Logaritmo cuadrático	1.53	0.09	0.002		0.96	0.003	***	1.54	0.09	-0.002		0.97	0.0027	***
EE (\pm)	0.003	0.001	0.00005					0.003	0.0008	0.00004				
Sign. parámetro	***	***	***					***	***	***				

* P < 0.01 y ***P < 0.001

Tabla 3. Resultados de ajuste de modelos para cada época de nacimiento de la hembra, año 2009

Modelo	Época poco lluviosa N= 260							Época lluviosa N=165						
	α	β	γ	δ	R ²	CMe	Sign	α	β	γ	δ	R ²	CMe	Sign
Lineal	36.61	11.84			0.96	209.02	***	33.29	12.39			0.94	412.9	***
EE (\pm)	0.85	0.08						0.94	0.09					
Sign. parámetro	***	***						***	***					
Lineal cuadrático	31.23	14.13	-0.13		0.97	268.92	***	32.24	12.83	-0.02		0.94	412.49	***
EE (\pm)	1	0.26	0.01					1.17	0.31	0.02				
Sign. parámetro	***	***	***					***	***	ns				
Lineal cúbico	32.82	11.74	0.25	-0.01	0.97	185.79	***	30.47	15.5	-0.44	0.02	0.94	407.68	***
EE (\pm)	1.05	0.62	0.09	0.033				1.24	0.73	0.1	0.003			
Sign. parámetro	***	***	**	***				***	***	***	***			
Logaritmo cuadrático	1.53	0.1	-0.002		0.98	0.0021	***	1.53	0.1	-0.0027		0.96	0.0042	***
EE (\pm)	0.0033	0.0008	0.00004					0.0037	0.0009	0.00005				
Sign. parámetro	***	***	***					***	***	***	***			

** P < 0.05; *** P < 0.001

Para el modelo logaritmo cuadrático, en las dos épocas del 2007, los valores R^2 fueron los de mejor ajuste, con 0.97.

Los modelos que estiman el PV para las hembras nacidas en ambas épocas estudiadas, pertenecientes al 2008, difirieron en $P < 0.001$. En los ajustes, lineal y lineal cuadrático, y en la época de lluvia, se encontraron menores coeficientes de determinación con 0.94.

Como en el 2007, el modelo logarítmico cuadrático, en ambas épocas del año en que nacieron las hembras, fue el de mejor ajuste, con R^2 igual a 0.96 para la época de pocas lluvias, y 0.97 para la lluviosa.

Lo mismo se constató en 2009 ($P < 0.001$) en los modelos evaluados para ambas épocas (tabla 3). Para las nacidas en la época lluviosa, se encontraron los R^2 más bajos, con 0.94 en todos los modelos lineales, excepto en el logarítmico cuadrático.

Como en los años anteriores, el modelo logarítmico cuadrático, en ambas épocas del año, fue el de mejor ajuste, con valores R^2 igual a 0.98, para la época de pocas lluvias, y de 0.96 para la de lluvias.

Según Fitzhugh y Taylor (1971), la elección de un modelo concreto para describir el crecimiento dependerá de su capacidad de interpretación biológica y por otro, del ajuste de los datos y sus exigencias, en cuanto a programa de computación. Aunque en todos los años estudiados, los modelos lineales presentaron buen ajuste del R^2 y $P < 0.001$, es evidente que el modelo de mejor ajuste para los PV de las hembras Siboney de Cuba, en el período 2007-2009, fue el logarítmico cuadrático. Fue en este donde se encontraron los más altos coeficientes de determinación para todos los años y épocas en que nacieron, con comportamiento de $R^2 \geq 0.96$, sobre todo, en el 2007, para ambos períodos. Estos coeficientes coinciden con los informados por Brody (1945), citado por Fernández (1996), Molina *et al.* (1992) y Robert-Granié *et al.* (2002) para las curvas de crecimiento de bovino. Estos autores consideran que el crecimiento animal tiene una fase de crecimiento lineal. Sin embargo, el ajuste de este modelo difiere de lo informado por Abreu *et al.* (2004), Pereda-Solís *et al.* (2005), Agudelo *et al.* (2007), Malhado *et al.* (2008) y Alonso (2009), quienes encontraron mejor ajuste en los modelos no lineales durante la etapa de crecimiento-desarrollo, con $R^2 \geq 0.90$. Lo anterior sugiere realizar estudios posteriores en la estimación de la curva de crecimiento de dicha raza, con la utilización de otros modelos.

Para la selección del modelo de mejor ajuste, otro criterio estadístico a considerar es el CMe. El modelo logarítmico cuadrático, para todos los años y épocas, presentó los valores más bajos, entre 0.0021 y 0.03, inferiores a los informados en el resto. Esto permitió estimar con mayor precisión los efectos de los factores estudiados y, a su vez, seleccionar el modelo de mejor bondad de ajuste en los casos analizados.

En el grupo de animales nacidos en la época lluviosa, se registraron los valores más bajos del CMe, con

0.0029 y 0.0027, en 2007 y 2008, respectivamente. Esto indica que hubo menor varianza del peso vivo, como la descrita por Freitas (2005), lo que explica, a su vez, en gran medida, la variabilidad del modelo constatada en todos los años para esta época de nacimiento. Además, puede ser, igualmente, expresión de la utilización de sistemas de alimentación acordes con cada etapa de crecimiento, y del uso de alternativas sostenibles en la producción ganadera, a partir del manejo correcto del sistema de pastoreo utilizado en las edades en que el bovino es más eficiente en el consumo de pasto (Senra 2005 y Mejías 2008).

Ajustado el modelo, se calcularon los residuos del modelo logarítmico cuadrático. Estos se obtienen de la comparación de los PV observados con los PV calculados mediante el modelo seleccionado, para determinar si existe subestimación o sobreestimación de los PV de los bovinos (Fabens 1965). Con respecto a los criterios para el análisis de la precisión de las estimaciones (análisis de residuos), la figura 1a y b muestra el comportamiento gráfico de los residuos. El rango de variación de los residuos estuvo entre -0.1 y 0.1. Los valores extremos correspondieron, en su mayoría, al año 2009, para los nacidos en la época lluviosa (-0.2 a 0.2). La figura 1 resulta imprescindible para conocer el comportamiento general de los residuos, según Torres *et al.* (2012).

De todos los años, el que mejor comportamiento mostró fue el 2007. Las terneras nacidas en la época de pocas lluvias, fueron las que exhibieron mayor cantidad de residuos, cercanos a -0.1 y 0.1.

Para todos los modelos evaluados, el parámetro α indica estimación en el valor del incremento de peso alcanzado por el animal (o de la población estudiada), sin ser, necesariamente, el mayor peso que el animal alcanza; sino el peso medio al que arriba a la madurez, independientemente de las variaciones estacionales (Brown y Berdemer 1997, Abreu *et al.* 2004 y Agudelo *et al.* 2007).

El análisis del parámetro α , obtenido por el modelo logarítmico cuadrático, muestra que el mayor valor osciló entre 1.55 y 1.56 ($P < 0.001$) para ambas épocas, en todos los años. Este es un indicador del desarrollo para alcanzar el peso asintótico del bovino.

Al comparar las estimaciones obtenidas por los cuatro modelos, el mayor valor correspondió al modelo lineal y a las nacidas en la época de pocas lluvias (38.13 kg). El menor, correspondió al logaritmo cuadrático (1.53 kg) en ambas épocas del año 2009. Resultados similares a estos lograron Oliveira *et al.* (2000), pero en un rango más estrecho. Para el resto de los modelos lineales evaluados en ambas épocas, los valores de este parámetro se comportaron muy similares, en el rango entre 31.5 y 37.1 kg, en ambas épocas de nacimiento de la hembra estudiada. En el parámetro α hubo subestimación en el modelo logarítmico cuadrático.

De acuerdo con Freitas (2005) y Noguera *et*

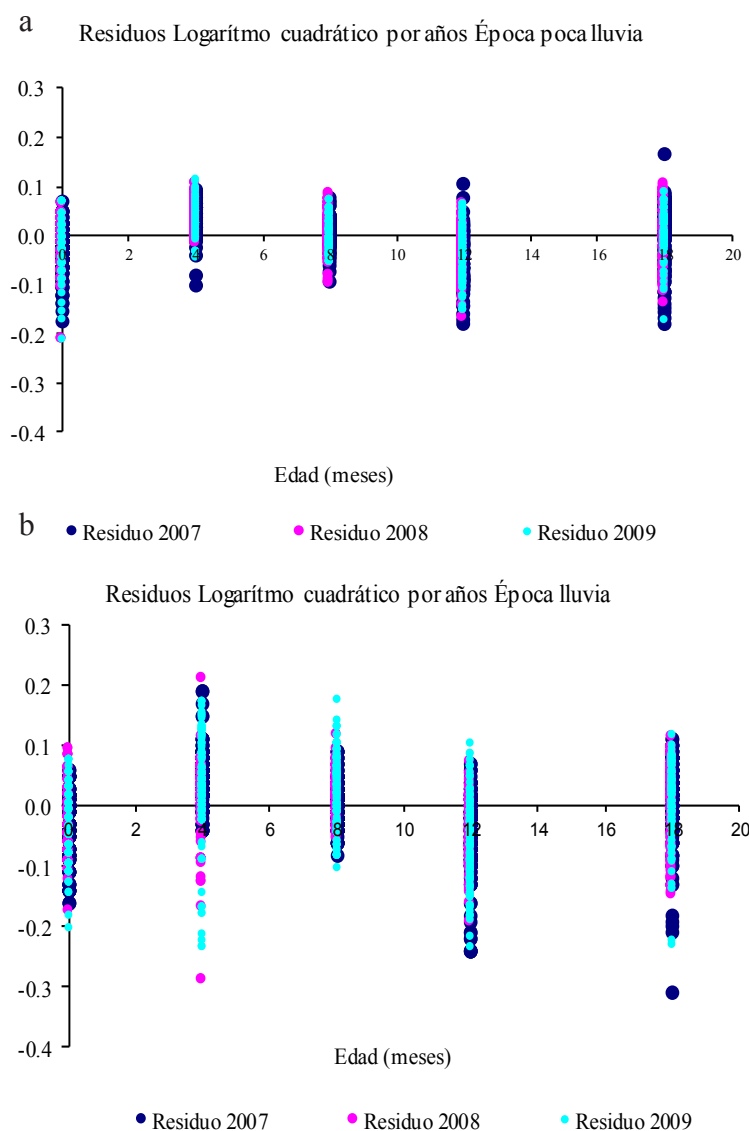


Figura 1a y b. Análisis de residuos del modelo logarítmico cuadrático para los periodos estudiados entre 2007 -2009.

al. (2008), el parámetro β no posee interpretación biológica, pero es importante para modelar la curva sigmoidea desde el nacimiento ($t=0$) hasta la edad adulta ($t \rightarrow \infty$). Por su parte, Abreu *et al.* (2004) sostienen que es el factor de integración que ajusta los valores de peso inicial, generalmente asociado con el peso al nacimiento (grado de desarrollo del animal al nacimiento para alcanzar el peso asintótico). No obstante, se considera su importancia para modelar la curva sigmoidea, desde el nacimiento hasta la edad adulta, a los 42 meses (Torres *et al.* 2012).

Abreu *et al.* (2004) y Marques da Silva *et al.* (2004) plantearon que otro parámetro importante para el estudio es el γ . Este parámetro expresa la tasa de madurez de los animales, como una función entre la máxima tasa de crecimiento y el peso adulto del animal (velocidad de crecimiento). Torres *et al.* (2012) informó que animales con altos valores de γ representan madurez precoz con respecto a los de peso inicial similar. En la estimación de este parámetro, ocurrió lo inverso del peso asintótico, con las estimaciones de modelos considerados (-0.0027

a 0.27). Similar comportamiento en las estimaciones de este parámetro informaron Oliveira *et al.* (2000) en bovinos, así como Torres *et al.* (2012) para animales *Bufalypsos* mestizos.

El mejor ajuste de los valores del parámetro γ , en ambas épocas, para todos los años, entre los cuatro modelos evaluados, fue para el modelo logarítmico cuadrático, pues sus valores (-0.0027- 0.002 y $P < 0.001$) y (-0.0026 – 0.002 y $P < 0.001$) en ambas épocas respectivamente, fueron los más bajos de los obtenidos en el resto de los modelos. Esto indica buena precisión de las variaciones en la velocidad relativa con que crecen los animales en ambas épocas de nacidos. Además, sugiere asimismo, una estabilidad en el ritmo de crecimiento, asociada a que las ganancias medias diarias de peso vivo se favorecieron. Resultados similares informaron Marques da Silva *et al.* (2004), Malhado *et al.* (2008) y Torres *et al.* (2012), pero para modelos no lineales ajustados al crecimiento animal.

Al analizar en la figura 1 a y b, los resultados del comportamiento promedio entre los valores de los PV

y los PV estimados mediante el modelo logarítmico cuadrático, para cada época de estudio de los años 2007-2009, hubo comportamiento similar en el ajuste de la curva, para cada año y época, con mejor incremento en las hembras nacidas en la época de pocas lluvias y en el 2007, lo que reafirma la correcta selección del modelo. Resultados similares al modelar crecimiento informaron Guerra *et al.* (1993), Fernández (1996), Del Valle (2000) y Guerra (2003), quienes consideran el buen ajuste de los modelos lineales para expresar la curva de crecimiento estándar de cualquier organismo vivo. En la literatura consultada no se encontraron informes de trabajos en los que el modelo logarítmico cuadrático tenga el mejor ajuste para explicar la curva de crecimiento de la hembra bovina en desarrollo.

Según Torres y Ortiz (2005), la modelación y simulación son aplicables a muchos problemas

relacionados con los rumiantes, en especial con la categoría más estudiada, que es la vaca lechera. En este estudio, se refiere la utilización de diferentes modelos para describir una etapa de la hembra bovina de mucha importancia, relacionada con el aumento de las producciones lecheras. De acuerdo con los criterios de Sampaio *et al.* (2005), a partir del modelo de mejor ajuste, pueden realizarse aproximaciones estocásticas que brindan mayor seguridad en la información, además de la modelación de los parámetros mejoran los niveles de estimación. Similares argumentos informaron Fernández *et al.* (2001), Fundora *et al.* (2006) y Ramírez (2007).

Se concluye que, entre los modelos evaluados, los lineales presentaron mejor ajuste para describir el crecimiento en el período de 0 a 18 meses, para la raza Siboney de Cuba en la Empresa Pecuaria "Camilo

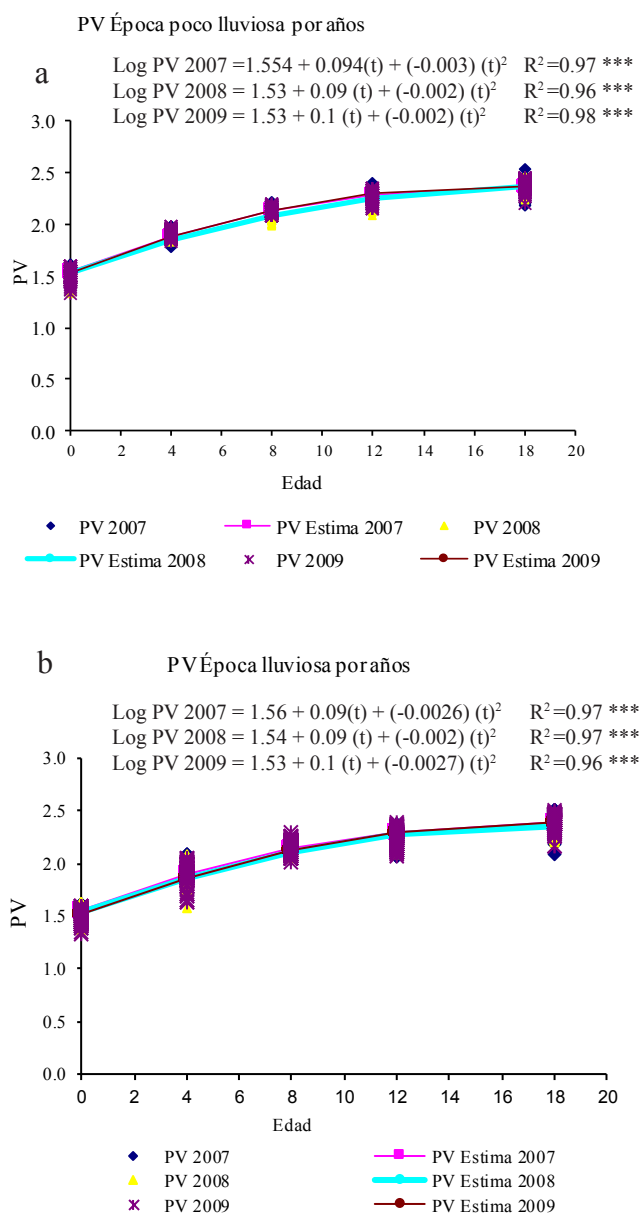


Figura 2 a y b. Comportamiento de PV (kg) y de los PV promedio, estimados por el modelo logarítmico cuadrático, por época y en los años 2007 - 2009

Cienfuegos”. Se destacó el modelo logarítmico cuadrático, con $R^2 = 0.96$ y de alta significación, en el modelo como en los parámetros α , β , γ , δ evaluados. Los mejores incrementos se registraron en animales nacidos en la época poco lluviosa. Entre años, el mejor comportamiento lo tuvo el 2007.

Agradecimientos

Se agradece a la Empresa Pecuaria Genética “Camilo Cienfuegos”, y a su Departamento de Genética, por permitir el acceso a sus bases de datos, así como al Departamento de Biomatemática del Instituto de Ciencia Animal, por su ayuda en el procesamiento de los datos.

Referencias

- Abreu, U. G., Cobuci, J. A., da Silva, M. V. G. B. & Sereno, J. R. B. 2004. Uso de modelos no lineales para el ajuste de la curva de crecimiento de bovinos Pantaneiros. Archivos de Zootecnia. Año/vol. 53. Número 204. Universidad de Cordova. España.
- Agudelo, D. A., Ceron, M. F. & Restrepo, L. F. 2007. Modelación de funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. Informe Ocasional no 18. Disponible en: <http://www.mundoveterinario.net/nueva/referencias/bovinos> [Consultado: 10/09/2007]
- Alonso, A. C. 2009. Comportamiento de las ganancias en peso vivo (de 0 a 18 meses de edad) del genotipo Siboney de la EGPC durante cuatro años consecutivos. Tesis de Maestría en Producción Animal para la zona Tropical. Instituto de Ciencia Animal. La Habana. Cuba
- Arias, Y., González-Peña, D., Montes, I. & Domínguez, A. 2010. Estimación de la curva de crecimiento en futuros sementales de la raza buffalypso. Rev. Ciencia y Tecnología Ganadera. 4:136-142
- Benítez, D., Ricardo, Y., Viamonte, M. I., Romero, A., Guevara, O., Verena, T. Miranda, M., Guerra, J. & Olivera, C. 2009. Alternativas tecnológicas para la hembra vacuna de reemplazo en el Valle del Cauto. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 43:361
- Brown, W. & Bandermer, H. 1997 Aplicaciones de las técnicas de simulación matemática. NIAES. Series No. 3: 173-188
- Caunedo, J. 1992. Software SISCOP. Empresa Pecuaria Genética “Niña Bonita”.
- Del Valle, J. 2000. La multicolinealidad en modelos de regresión lineal múltiple. Tesis de Maestría. Universidad Agraria de La Habana, Cuba
- Duarte, F.A.M. 1975. Estudo da curva de crescimento de animais da raça Nelore (*Bos taurus indicus*) através de cinco modelos estocásticos. 284 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São perior de Agricultura de “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- Elías, M.A. 1998. Análise de curvas de crescimento de vacas das raças Nelore, Guzerá e Gir. 128 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola Su
- Fabens, A. J. 1965. Properties and fitting of the von Bertalanffy growth curve. Growth 29: 265
- Fernández, L. 2004. Modelos estadísticos-matemáticos en el análisis de la curva de lactancia y factores que la afectan en el genotipo Siboney de Cuba. Tesis de Doctor en Ciencias Veterinarias. 113 pp.
- Fernández, L. 1996. Modelos que describen la dinámica de los procesos biológicos en las ciencias. Tesis de Maestría. Universidad Agraria de La Habana, Cuba
- Fernández, L., Menéndez, A., Guerra, V., & Suárez, M. 2001. Estimación de curvas de lactancias estándar de la raza Siboney para su utilización en extensiones de lactancia. Rev. Cubana de Cienc. Agríc. 35: 99.
- Fitzhugh, H. A. Jr. & Taylor, St. C. S. 1971. Genetics analysis of degree of maturity. J Anim Sci 33: 717
- Freitas, A.R. 2005. Curvas de crescimento na produção animal. Rev. Bras. Zoot. 34:786
- Fundora, O., Torres, V., González, M. E., Noda, A. 2006. Curvas de crecimiento y peso vivo de un rebaño de búfalo de río. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 40:419.
- Guerra, W., Cabrera A. & Fernández, L. 2002. Propuesta metodológica para la selección de modelos estadísticos. Aplicaciones a modelos de regresión. Monografía. UNAH. La Habana, Cuba. 35p.
- Guerra, W. 2003. Criterios para la selección de modelos estadísticos en la investigación científica. Revista Cubana de Cienc. Agríc. 37:3
- González, S. 2009. Estimación de los parámetros, valores y tendencias genéticas para los rasgos de crecimiento del ganado Cebú cubano. Tesis de Doctor en Ciencias. CIMAG. Cuba
- Gregorich, J. 1992. Comportamiento de la actividad estral y la fertilidad en rebaños Siboney. Trabajo de Diploma. Universidad de Granma. Bayamo, Granma, Cuba
- Guerra, W., De Calzadilla, J. & Del Valle, J. 1993. Aspectos cualitativos-cuantitativos sobre modelos que describen la dinámica de crecimiento en poblaciones. Monografía. Universidad Agraria de La Habana. 13 pp.
- López, D. 1983. Caracterización de la población base de un nuevo genotipo lechero tropical. El Siboney de Cuba. Tesis C. Dr. Cs. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana.
- López, D., Ponce de León, R. & Orrel, R. 1986. Características del crecimiento y comportamiento reproductivo de novillas de primer nivel inter-se 5/8H 3/8C. Memorias ALPA 21: 12
- Malhado, C.H.M., Ramos, A. A., Carneiro, P.L.S., Souza J.C., Wechsler, F.S., Eler, J.P., Azevêdo, D.M.M.R. & Sereno, J.R.B. 2008. Modelos no lineales para describir el crecimiento de bufalinos de la raza Murrah. Archivos de Zootecnia. 57: 220
- Marquardt, D. W. 1963. An algorithm for least square estimation of non-linear paramet. J. Soc. Indust. Appl. Math. 11: 431
- Marques da Silva, N. A., Henrique de Aquino, L., Fonseca e Silva, F., Ilson Gomes de Oliveira, A. 2004. Curvas de crecimiento e influencia de factores no genéticos en las tasas de crecimiento de bovinos de la raza Nerole. Ciênc. Agrotec. Lavras. 28:647
- Mazzini, A. R. A. 2001. Análise da curva de crescimento de machos Hereford considerando heterogeneidade de variâncias e autocorrelação dos erros. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Lavras, Lavras. 94 p.
- Mejías, R. A. 2008. Sistema para la producción de hembras bovinas de reposición con asociación de gramíneas con leguminosas. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias. ICA.
- MINAG, 2011. Balance productivo de los rebaños lecheros en Cuba en el último quinquenio. Ciudad Habana, Cuba
- Molina, A., Serrano, M.I., Burgos, A., Jiménez, J.M., Salado, F. M., Cabeza de Vaca, F., Espárrago, E. & Rodero, A. 1992.

- Estimación de la curva de crecimiento en vacuno retinto: aspectos prácticos para la tipificación de pesos. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo279549>. Consultado: 1/02/10
- Noguera, R.R., Pereira, R.L. & Solarte, C. E. 2008. Comparación de modelos no lineales para describir curvas de crecimiento en cuyes (*Cavia porcellus*) desde el nacimiento hasta la edad de sacrificio. Libestock Res. Rural Devel. 20:5
- Oliveira, H. N., Lôbo, R.B. & Pereira, C. S. 2000. Comparação de modelos não-lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça Guzerá. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília. 35:1843
- Pereda-Solís, M.E., González-Muñoz, S., Arjona-Suárez, E., Bueno-Aguilar, G. & Mendoza-Martínez, G. 2005. Ajuste de modelos de crecimiento y cálculo de requerimientos nutricionales para bovinos Brahman en Tamaulipas, México. Revista Agrociencia, 39:19
- Perotto, D., Castanho, M. J. de P.; Cubas, A. C.; Rocha, J. L.; Pinto, J. M. 1997. Efeitos genéticos sobre as estimativas dos parâmetros das curvas de crescimento de fêmeas bovinas Gir, Guzerá, Holandês x Gir e Holandês x Guzerá. Revista Brasileira de Zootecnia. Viçosa. 26: 719
- Ratkowsky, D. A. 1983. Non-linear regression modeling. Mercel dekker. New York. 297 p.
- Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 48, Número 3, 2014.
- Ramírez, R. 2007. Modelación de curvas de crecimiento y producción de leche en ganado bovino. Artículo en pdf.
- Robert-Granié, C., Heude, B. & Foulley, J.L. 2002. Modelling the growth curve of Maine-Anjou beef cattle using heteroskedastic random coefficients models. Genet. Sel. Evol. 34: 423
- Sampaio, I., Ferreira, W & Bastos, F. 2005. Selecting high performance rabbits at early ages thought and stochastic approach. J. Animal Prod. 10:81
- Senra, A. 2005. Índices para controlar la eficiencia y sostenibilidad del ecosistema del pastizal en la explotación bovina. Rev. Cubana de Cienc. Agríc. 39:13
- SPSS. 2002. Software estadístico. Manual de usuario. Versión 11.5.1. EUA. Sp.
- Torres, V. & Ortiz, J. 2005. Aplicaciones de la modelación y simulación a la producción y alimentación de animales de granjas. Rev. Cubana Cienc. Agríc. Tomo 39. Numero Especial. ICA. La Habana.
- Torres, V., Barbosa, I., Meyer, R., Noda, A. & Sarduy, L. 2012. Criterios de bondad de ajuste en la selección de modelos no lineales en la descripción de comportamientos biológicos. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 4: 345

Recibido: 9 de abril de 2014