

Definición de curvas de crecimiento con modelos no lineales en borregas de siete razas con registro de pureza en México

Joel Domínguez-Viveros ^{a*}

Edwin Canul-Santos ^a

Felipe Alonso Rodríguez-Almeida ^a

María Eduviges Burrola-Barraza ^a

Juan Ángel Ortega-Gutiérrez ^a

Francisco Castillo-Rangel ^a

^a Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Zootecnia y Ecología. Periférico Francisco R. Almada km 1. 31453 Chihuahua, Chih. México.

* Autor de correspondencia: joeldguezviveros@yahoo.com.mx – jodominguez@uach.mx

Resumen:

Caracterizar el crecimiento ayuda en la toma de decisiones de manejo, comercialización y mejoramiento genético. El objetivo fue identificar un modelo no lineal (MNL) para describir la curva de crecimiento en borregas de registro a través de siete razas. Se evaluó el peso vivo, desde el nacimiento hasta los 230 d de edad, de las razas Blackbelly (BB; n= 19,084), Pelibuey (PE; n= 39,025), Dorper (DR; n= 35,814), Katahdin (KT; n= 74,154), Suffolk (SF; n= 10,267), Hampshire (HS; n= 7561) y Rambouillet (RB; n= 7,384). Se evaluaron los MNL: Brody (BRO), Verhulst (VER), Von Bertalanffy (VBE), Gompertz (GOM), Mitscherlich (MIT) y Logístico (LOG). Los análisis se realizaron con el software SAS. Los criterios para seleccionar el modelo con mejor ajuste fueron: error de predicción promedio, varianza del error de predicción, estadístico Durbin-Watson, coeficiente de determinación, raíz del cuadrado medio del error, criterios de información Akaike y Bayesiano. Para HS, PE y SF, el mejor modelo fue VBE, con una curva sigmoide y edad al punto de inflexión entre 40 y 57 d. Los modelos BRO y MIT tuvieron el mejor ajuste para KT, BB, DR y RB, con una curva continua, sin punto de inflexión y tasa de crecimiento constante. Para peso adulto se observaron marcadas diferencias, con valores promedio (kg) de 44.6 en BB, 49.2 en

RB, 52.9 en PE, 55.6 en HS, 60.2 en KT, 64.7 en SF y 65.2 en DR; con la tendencia de valores mayores para los modelos BRO y MIT, y los menores para LOG y VER.

Palabras clave: Tasa de crecimiento, Peso adulto, Selección de modelos, Von Bertalanffy, Brody, Regresión no lineal.

Recibido: 10/03/2018

Aceptado: 27/09/2018

Introducción

El Organismo de la Unidad Nacional de Ovinocultores (OUNO) agrupa a los criadores de ovinos especializados y de registro de México. El OUNO coordina los esquemas de mejoramiento genético de las razas ovinas, con base en los registros genealógicos y los controles de producción de las variables incluidas en los criterios y objetivos de selección de cada raza. Con relación a las variables de crecimiento, se registra el peso vivo del animal en cinco puntos o edades⁽¹⁾; los datos de peso vivo a diferentes edades generan una distribución de puntos a través del tiempo, que permite analizar y caracterizar el patrón de crecimiento del ovino con base en modelos matemáticos no lineales (MNL), los cuales resumen la variación del peso vivo a través del tiempo en un reducido número de parámetros e indicadores de crecimiento con interpretación biológica^(2,3).

La producción de ovinos en México se desarrolla en condiciones diversas de tecnología, agroecología y socioeconomía. El registro ordenado y verídico de los eventos que ocurren en la unidad de producción, particularmente de las características de interés económico, es fundamental para que el criador determine la rentabilidad de la unidad. El cambio del peso vivo del animal está influido por factores genéticos y ambientales, con efectos variables a través del tiempo o del desarrollo del individuo; por consiguiente, cada raza tiene un patrón de crecimiento con características propias, por lo que se requiere probar varios MNL para identificar el de mejor ajuste en cada raza. La identificación de modelos con el mejor ajuste proporciona información objetiva y precisa del patrón de crecimiento, que puede utilizarse por los criadores en la toma de decisiones relacionadas con producción, manejo y mejora genética.

Con base en lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron: 1) identificar el MNL de mejor ajuste para describir la curva de crecimiento en ovinos de cuatro razas de pelo (Blackbelly, Pelibuey, Dorper y Katahdin) y tres razas de lana (Suffolk, Hampshire y Rambouillet); y, 2) generar indicadores de crecimiento que permitan caracterizar y analizar las curvas de crecimiento.

Material y métodos

La base de datos analizada incluyó registros de peso vivo de borregas en siete razas de registro del OUNO: Blackbelly (BB), Pelibuey (PE), Dorper (DR), Katahdin (KT), Suffolk (SF), Hampshire (HS) y Rambouillet (RB). Las variables analizadas fueron los pesos vivos tomados al nacer, a los 75, 120, 150 y 210 días de edad, con mediciones en intervalos de ± 20 días con respecto a la edad de referencia (Cuadro 1). El peso a los 75 días corresponde al destete; dado las características del mercado los machos son comercializados a partir de los 120 días, por lo cual el presente estudio incluyó sólo datos de hembras.

Cuadro 1: Número de registros a diferentes edades en las siete razas de ovinos evaluadas

Raza	PN	P75	P120	P150	P210	Total
Katahdin	24,878	21,365	11,500	10,502	5,909	74,154
Pelibuey	14,164	11,796	5,301	4,993	2,771	39,025
Dorper	11,487	9,522	5,802	5,510	3,493	35,814
Blackbelly	7,151	5,439	2,475	2,416	1,603	19,084
Suffolk	3,636	2,836	1,542	1,459	794	10,267
Hampshire	2,597	2,177	1,236	1,056	495	7,561
Rambouillet	2,504	1,748	1,189	1,093	850	7,384

PN= peso nacer; P75= peso vivo en el intervalo de 55 a 95 d; P120= peso vivo en el intervalo de 100 a 140 d;

P150= peso vivo en el intervalo de 130 a 170 d; P210= peso vivo en el intervalo de 190 a 230 d.

La información procedió de rebaños distribuidos en tres regiones del país, principalmente. En la zona centro se encuentra el 50 % de los rebaños evaluados, produciendo ovinos de las razas SF, HS, RB, especialmente. De la región sur – sureste se derivó el 22 % de la base de datos, correspondientes a las razas PE, BB, DR y KT; en la zona norte están ubicados el 18 % de los rebaños, criando ovinos de las razas BB, DR y KT, principalmente; el 10 % restante, procedió de rebaños de otras regiones del país. La zona centro se caracteriza por sistemas de producción intensivos o semi intensivos, en régimen de estabulación combinando pastoreo tecnificado. Las regiones norte y sur – sureste se caracterizan por sistemas de producción semi intensivos y extensivos, combinando los regímenes de pastoreo y confinamiento en corrales. En el norte se cuenta con grandes extensiones áridas y semiáridas donde se aprovechan pastizales y matorrales de diversas especies; en el sur – sureste con climas tropicales permite una alta disponibilidad de pastos tropicales.

Los modelos no lineales (MNL) que se evaluaron fueron: Brody (BRO), Verhulst (VER), Von Bertalanffy (VBE), Gompertz (GOM), Mitscherlich (MIT) y logístico (LOG). Todos ellos conformados por tres coeficientes (β_1 , β_2 y β_3) de regresión^(4,5,6). En las ecuaciones de los MNL

(Cuadro 2), y_i representa el peso vivo (kg) medido al tiempo t ; β_1 , es el valor asintótico cuando t tiende a infinito, interpretado como el parámetro de peso adulto (PAD); β_2 , es un parámetro de ajuste cuando $y \neq 0$ y $t \neq 0$; y β_3 , es la tasa de crecimiento (TAC), expresando la ganancia de peso como proporción del peso total^(2,7). Los modelos VER, VBE, GOM y LOG se caracterizan por describir el crecimiento con base en una curva sigmoide, para los cuales se estimó la edad (EPI) y el peso (PPI) al punto de inflexión^(8,9).

Cuadro 2: Modelos no lineales utilizados para describir el crecimiento en ovinos de registro

Modelo	Ecuación
Verhulst	$y_i = \beta_1 * (1 + \exp(-\beta_2 * t))^{-\beta_3} + e_i$
Logístico	$y_i = \beta_1 / (1 + \beta_2 * (\exp(-\beta_3 * t))) + e_i$
Von Bertalanffy	$y_i = \beta_1 * ((1 - \beta_2 * (\exp(-\beta_3 * t)))^{*3}) + e_i$
Gompertz	$y_i = \beta_1 * (\exp(-\beta_2 * (\exp(-\beta_3 * t)))) + e_i$
Brody	$y_i = \beta_1 * (1 - \beta_2 * (\exp(-\beta_3 * t))) + e_i$
Mitscherlich	$y_i = \beta_1 * (1 - \exp(\beta_3 * \beta_2 - \beta_3 * t)) + e_i$

y_i = peso vivo en kg medido al t tiempo; β_1 = valor asintótico; β_2 = constante de integración; β_3 = pendiente de la curva o tasa de crecimiento.

Los análisis se realizaron con el método de Gauss-Newton del procedimiento NLIN del programa para análisis estadístico SAS⁽¹⁰⁾; la selección del modelo con mejor ajuste se realizó en función de^(11,12,13): a) criterio de información Akaike [$AIC = n * \ln(sce/n) + 2k$]; b) criterio de información Bayesiano [$BIC = n * \ln(sce/n) + k * \ln(n)$]; c) error de predicción promedio [$EPP = (\sum_{i=1}^n \left(\frac{pvi - pei}{pei} \right) * 100) / n$]; d) varianza del error de predicción [$VEP = \sum_{i=1}^n (pei - pvi)^2 / n$]; e) estadístico Durbin Watson [$DW = 2(1 - \rho)$; $\rho = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2}$]; f) coeficiente de determinación [$R^2 = (1 - (sce/sct))$]; y, g) error estándar general o del modelo, a partir de la raíz del cuadrado medio del error ($EEG = \sqrt{\frac{sce}{n-p-1}}$). Donde: pvi = peso vivo (kg) en la i - ésima edad (d); pei = peso vivo (kg) estimado para la i - ésima edad (d); n = número total de datos; sce = suma de cuadrados del error; sct = suma de cuadrados total; k = número de parámetros en el modelo; \ln = logaritmo natural. El EPP analiza la relación que existe entre el peso medido y el peso estimado, y en función del signo, el MNL sobreestima (+) o subestima (-) las predicciones. Para EPP, VEP, EEG, AIC y BIC, el modelo con el menor valor se consideró como de mejor ajuste, mientras que para R^2 fue el mayor valor. El DW analiza las auto correlaciones en los errores, con tres planteamientos: si $2 < DW < 4$ existe auto correlación negativa; si $0 < DW < 2$ revela ausencia de auto correlación; y, si $DW \leq 0$ indica que existe auto correlación positiva.

Resultados y discusión

El Cuadro 3 muestra los resultados de los criterios estadísticos utilizados para la selección del modelo de mejor ajuste para cada una de las razas. Con base en el R^2 , todos los MNL explicaron 94 % o más de la variabilidad en la información analizada; además, todos los MNL tienden a subestimar las predicciones (EPP negativo) sin autocorrelación en los residuales ($0 < DW < 2$). Los resultados en la VEP y EEG fueron similares dentro de raza, aunque más altos para el modelo LOG en todas las razas. Con base en AIC y BIC, los modelos MIT y BRO tuvieron resultados similares dentro de raza y fueron los de mejor ajuste para KT, BB, DR y RB; sin embargo, para las razas HS, PE y SF el modelo de mejor ajuste fue el VBE, con EPI entre 40 y 57 d (Cuadro 4), edad que se ubican en el periodo predestete. Con base en lo MNL que presentan punto de inflexión, el PPI promedio para PE, HS y SF fue de 16.4, 20.2 y 23.2 kg, respectivamente.

Cuadro 3: Estadísticos utilizados para la selección del modelo no lineal de mejor ajuste

RZ [†]	MOD [§]	*VEP	*EPP	*DW	*R ²	*EEG	*AIC	*BIC
BB	LOG	20.4	-17.8	0.66	0.95	4.3	55904	55927
	GOM	19.3	-10.5	0.58	0.95	4.2	54563	54587
	VBE	19.1	-8.4	0.56	0.95	4.1	54202	54225
	VER	19.9	-13.5	0.62	0.95	4.2	54942	54966
	MIT	18.8	-5.9	0.54	0.95	4.1	53757	53781
	BRO	19.0	-6.0	0.56	0.95	4.1	53757	53781
DR	LOG	44.3	-18.4	1.30	0.95	6.4	132665	132690
	GOM	41.7	-10.5	1.30	0.95	6.1	130012	130037
	VBE	41.1	-7.9	1.32	0.96	6.1	129282	129307
	VER	42.2	-9.8	1.31	0.95	6.2	130754	130779
	MIT	40.5	-5.4	1.36	0.96	6.0	128389	128415
	BRO	41.0	-5.8	1.39	0.96	6.0	128389	128415
HS	LOG	44.3	-12.4	0.04	0.95	5.7	26115	26135
	GOM	42.8	-7.3	0.04	0.95	5.6	25799	25820
	VBE	42.6	-6.3	0.04	0.96	5.6	25749	25770
	VER	43.7	-9.9	0.04	0.95	5.6	25876	25897
	MIT	42.8	-5.2	0.04	0.96	5.6	25755	25775
	BRO	42.8	-5.4	0.04	0.96	5.6	25755	25775
KT	LOG	37.1	-17.0	0.68	0.95	6.0	262113	262141
	GOM	35.6	-9.9	0.64	0.95	5.8	257855	257882
	VBE	35.3	-8.0	0.64	0.95	5.8	256792	256819
	VER	35.9	-9.1	0.66	0.95	5.9	259020	259048
	MIT	35.3	-6.1	0.68	0.95	5.7	255755	255782

	BRO	35.4	-6.1	0.67	0.95	5.7	255755	255782
PE	LOG	26.4	-15.1	0.26	0.94	4.6	118402	118428
	GOM	25.6	-9.3	0.24	0.94	4.5	116815	116841
	VBE	25.5	-7.0	0.24	0.94	4.5	116583	116608
	VER	26.1	-8.6	0.25	0.94	4.5	117161	117187
	MIT	25.6	-5.2	0.24	0.94	4.5	116745	116771
	BRO	26.2	-5.9	0.26	0.94	4.5	116745	116771
RB	LOG	19.8	-5.6	1.80	0.98	4.4	21873	21894
	GOM	18.7	-4.9	1.80	0.98	4.2	21119	21139
	VBE	18.5	-4.2	1.80	0.98	4.1	20914	20935
	VER	19.1	-5.1	1.81	0.98	4.0	21355	21376
	MIT	18.3	-3.5	1.80	0.98	4.0	20629	20650
	BRO	18.4	-3.7	1.82	0.98	4.0	20629	20650
SF	LOG	46.8	-9.1	0.04	0.95	6.4	37846	37867
	GOM	45.0	-7.3	0.04	0.96	6.2	37354	37376
	VBE	44.8	-6.1	0.06	0.96	6.2	37276	37298
	VER	45.9	-9.1	0.05	0.96	6.3	37467	37489
	MIT	44.8	-5.3	0.06	0.96	6.2	37277	37299
	BRO	44.9	-5.3	0.07	0.96	6.2	37277	37299

†Razas: BB= Blackbelly, PE= Pelibuey, DR= Dorper, KT= Katahdin, SF= Suffolk, HS= Hampshire, RB= Rambouillet.

§Modelos: VER= Verhulst, LOG= Logístico, VBE= Von Bertalanffy, GOM= Gompertz, BRO= Brody, MIT= Mitscherlich.

*Estadísticos para la selección de modelos: VEP= Varianza del error de predicción, EPP= Error promedio de predicción, DW= Estadístico Durbin-Watson, R²= Coeficiente de determinación, EEG= Error estándar general, AIC= Criterio de información Akaike, BIC= Criterio de información Bayesiano.

Cuadro 4: Coeficientes de regresión e indicadores de crecimiento que conforman los modelos no lineales evaluados

RZ [†]	MOD [§]	¥β ₁ ± ee	¥β ₂ ± ee	¥β ₃ ± ee	£PPI	£EPI
BB	LOG	33.1±0.13	7.37±0.08	0.0243±0.0001	16.6	82
	GOM	36.9±0.21	2.42±0.01	0.0139±0.0001	13.6	63
	VBE	40.0±0.28	0.575±0.01	0.0103±0.0001	11.9	53
	VER	35.2±0.17	3.35±0.02	0.0171±0.0002	17.6	86
	MIT	61.3±1.22	-13.11±0.03	0.0034±0.0002		
	BRO	61.2±1.31	0.955±0.02	0.0034±0.0002		
DR	LOG	48.8±0.14	7.61±0.07	0.0242±0.0001	24.4	84
	GOM	54.1±0.22	2.48±0.01	0.0140±0.0001	19.9	65
	VBE	58.6±0.29	0.586±0.01	0.0105±0.0001	17.4	54
	VER	51.8±0.17	3.43±0.01	0.0171±0.0001	25.9	88

	MIT	88.8±1.23	-11.52±0.22	0.0035±0.0001		
	BRO	88.9±1.22	0.959±0.0	0.0036±0.0001		
HS	LOG	45.4±0.24	6.99±0.13	0.0285±0.0003	22.7	68
	GOM	50.0±0.37	2.31±0.02	0.0163±0.0002	18.3	51
	VBE	53.2±0.48	0.552±0.03	0.0125±0.0001	15.8	40
	VER	48.0±0.31	3.22±0.03	0.0201±0.0002	24.0	71
	MIT	68.6±1.36	-12.31±0.49	0.0054±0.0002		
	BRO	68.6±1.36	0.935±0.01	0.0054±0.0001		
KT	LOG	43.5±0.09	7.42±0.04	0.0241±0.0001	21.8	83
	GOM	48.6±0.15	2.44±0.01	0.0138±0.0001	17.9	65
	VBE	52.9±0.21	0.581±0.01	0.0102±0.0001	15.7	54
	VER	46.3±0.12	3.38±0.01	0.0171±0.0002	23.2	86
	MIT	84.9±1.01	-12.83±0.17	0.0032±0.0001		
	BRO	84.9±0.98	0.959±0.01	0.0032±0.0001		
PE	LOG	35.9±0.01	8.48±0.07	0.0256±0.0001	17.9	83
	GOM	40.7±0.18	2.57±0.01	0.0141±0.0001	14.9	67
	VBE	44.7±0.24	0.597±0.01	0.0102±0.0001	13.2	57
	VER	38.7±0.14	3.55±0.02	0.0174±0.0001	19.4	88
	MIT	78.9±1.40	-12.01±0.22	0.0029±0.0001		
	BRO	78.9±1.41	0.966±0.01	0.0029±0.0001		
RB	LOG	42.7±0.16	6.05±0.09	0.0259±0.0002	21.4	69
	GOM	45.9±0.23	2.14±0.02	0.0157±0.0001	16.9	48
	VBE	48.1±0.28	0.524±0.02	0.0124±0.0001	14.3	36
	VER	44.5±0.19	3.00±0.02	0.0191±0.0001	22.3	70
	MIT	56.8±0.62	-13.96±0.32	0.0064±0.0001		
	BRO	56.9±0.61	0.915±0.01	0.0064±0.0001		
SF	LOG	51.7±0.23	7.67±0.13	0.0276±0.0002	25.8	74
	GOM	57.5±0.36	2.42±0.02	0.0155±0.0001	21.1	57
	VBE	61.6±0.49	0.571±0.01	0.0117±0.0001	18.3	46
	VER	55.1±0.36	3.38±0.02	0.0191±0.0001	27.6	77
	MIT	84.0±1.61	-12.03±0.35	0.0046±0.0001		
	BRO	84.0±1.61	0.945±0.01	0.0046±0.0001		

[†]Razas: BB= Blackbelly, PE= Pelibuey, DR= Dorper, KT= Katahdin, SF= Suffolk, HS= Hampshire, RB= Rambouillet.

[§]Modelos: VER= Verhulst, LOG= Logístico, VBE= Von Bertalanffy, GOM= Gompertz, BRO= Brody, MIT= Mitscherlich.

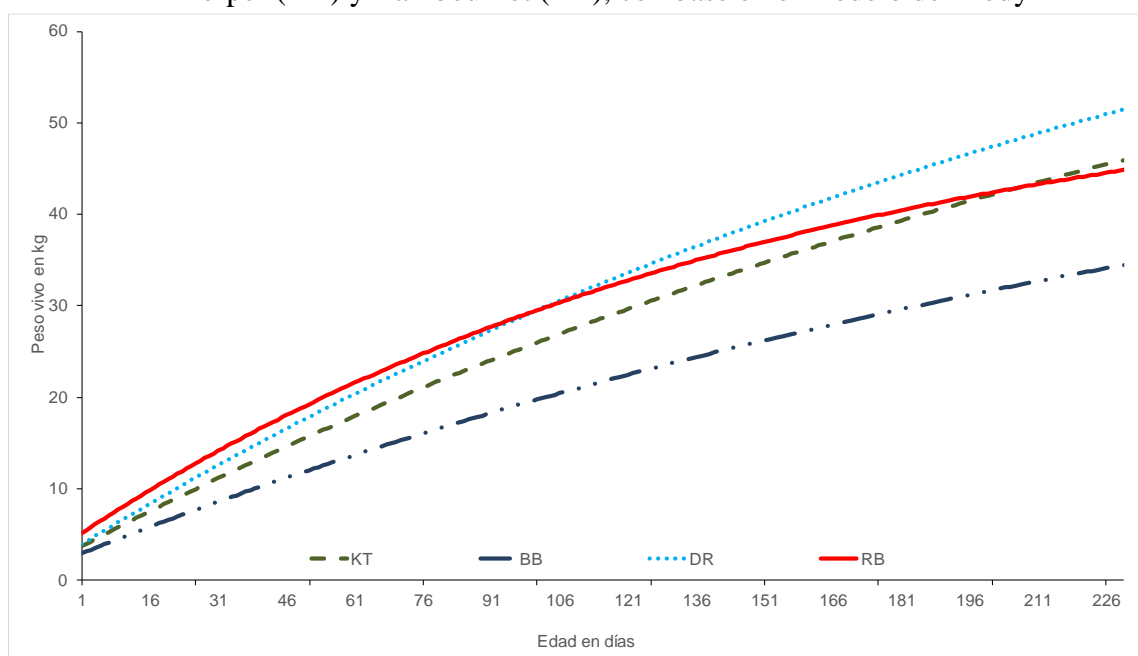
[¥]Coefficientes de regresión que conforman los modelos no lineales: β_1 = valor asintótico (kg), β_2 = parámetro de ajuste, β_3 = tasa de crecimiento, ee= error estándar.

[£]Indicadores de crecimiento: EPI= edad (días) al punto de inflexión, PPI= peso (kg) al punto de inflexión.

Las curvas de crecimiento, con base en el modelo de mejor ajuste, mostraron las diferencias en el patrón de crecimiento a través de razas (Figuras 1 y 2). La curva de crecimiento describe y

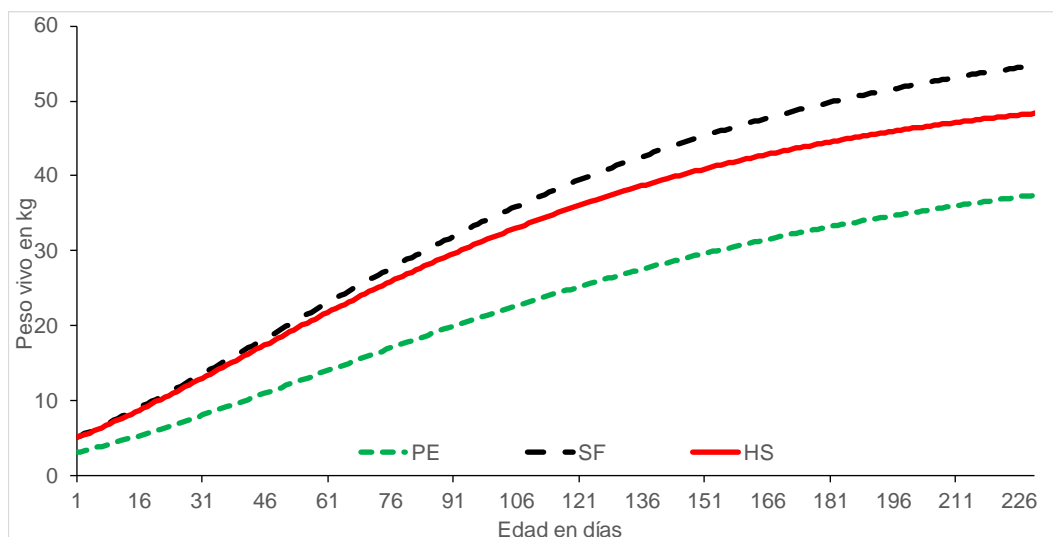
representa la evolución del peso vivo a través del tiempo; el análisis de las curvas de crecimiento proporciona información que puede ser utilizada en los programas de manejo, alimentación y mejora genética. Los MNL expresan la curva de crecimiento en función de varios componentes: peso adulto, tasa o velocidad de crecimiento, grado de madurez, edad y el peso al punto de inflexión, entre otros^(2,7); por consiguiente, para modificar o alterar el crecimiento se deben buscar estrategias que trasciendan en los citados componentes^(14,15). El modelo VBE se caracteriza por una curva sigmoide (Figura 2), siendo el punto de inflexión donde la TAC cambia de un proceso de aceleración a una fase de desaceleración; mientras que los modelos BRO y MIT describen una curva de crecimiento continua y sin punto de inflexión (Figura 1), y la TAC como proporción del PAD es constante a través del tiempo^(3,16).

Figura 1: Curvas de crecimiento para borregas de las razas Katahdin (KT), Blackbelly (BB), Dorper (DR) y Rambouillet (RB), con base en el modelo de Brody



En estudios similares, Bahreini *et al*⁽⁵⁾ en ovinos Baluchi, Kopuzlu *et al*⁽¹⁷⁾ en borregas Hemsin, y Gbangboche *et al*⁽¹⁸⁾ en ovinos West African Dwarf reportaron que el modelo BRO fue de mejor ajuste para describir el crecimiento; así mismo, analizando el crecimiento de ovinos Morada Nova⁽⁴⁾, publicaron que los modelos Meloun I y Meloun III, con patrones de crecimiento similares a los modelos BRO y MIT del presente estudio, fueron los de mejor ajuste. Por otro lado, Lupi *et al*⁽⁹⁾ en borregas Segureñas y Topal *et al*⁽¹⁹⁾ en ovinos Awassi, reportaron que el modelo VBE fue el de mejor ajuste.

Figura 2: Curvas de crecimiento para borregas de las razas Pelibuey (PE), Suffolk (SF) y Hampshire (HS), con base en el modelo Von Bertalanffy



Para el PAD (Cuadro 4) se observaron marcadas diferencias a través de las razas evaluadas, con la tendencia del más alto para los modelos BRO y MIT y el menor para LOG y VER; con valores promedio de 44.6 kg en BB, 49.2 kg en RB, 52.9 kg en PE, 55.6 kg en HS, 60.2 kg en KT, 64.7 en SF y 65.2 en DR. Incrementos del PAD en las hembras repercute en las necesidades de mantenimiento, reproducción y valor de desecho; en la borrega se ejerce gran porcentaje de los gastos para la producción de un cordero, aumentar el tamaño de las hembras repercute en el aumento de los costos de producción; sin embargo, en los programas de selección se puede mantener constante el peso asintótico, mientras se maximiza la TAC^(14,20). La TAC se refiere a la rapidez de crecimiento relativo al PAD; con TAC altas se alcanza el PAD a menor edad. La velocidad de crecimiento es económicamente importante porque se puede usar para determinar el momento óptimo del sacrificio, una vez que el animal haya alcanzado la velocidad de crecimiento máxima^(13,21).

Las correlaciones entre PAD y TAC son esenciales en las estrategias para modificar las curvas de crecimiento^(15,21). En el presente estudio todas las correlaciones entre PAD y TAC fueron negativas y altas (-0.70 a -0.99). La correlación negativa puede indicar ciertas características de las curvas de crecimiento: a) los mayores PAD no derivan de altas TAC; b) una menor TAC puede incrementar el tiempo para alcanzar el PAD; y c) en los esquemas de mejoramiento genético, se puede incrementar la TAC sin repercusiones en el PAD^(7,15,22).

Conclusiones e implicaciones

Para las razas Hampshire, Pelibuey y Suffolk, con base en el modelo de Von Bertalanffy, la curva de crecimiento fue de tipo sigmoidea, con un punto de inflexión en los intervalos de 40 a 57 días. Para Katahdin, Blackbelly, Dorper y Rambouillet, la curva de crecimiento presentó una tasa de crecimiento continua y sin punto de inflexión, dado las características del modelo de Brody. Las diferencias a través de razas, dado el patrón de la curva y los indicadores de crecimiento, expresan un potencial genético que puede ser favorable en los diversos sistemas de producción.

Agradecimientos

Se agradece al Organismo de la Unidad Nacional de Ovinocultores por facilitar la base de datos para realizar el presente estudio, en el marco del convenio de colaboración entre la Universidad Autónoma de Chihuahua y el Consejo Nacional de los Recursos Genéticos Pecuarios. Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico otorgado al segundo autor para realizar estudios de maestría en ciencias.

Literatura citada:

1. CONARGEN. Guía técnica de programas de control de producción y mejoramiento genético en ovinos. Consejo Nacional de los Recursos Genéticos Pecuarios. México, DF. 2010.
2. Lewis RM, Emmans GC, Dingwall WS, Simm G. A description of the growth of sheep and its genetic analysis. *Anim Sci* 2002;74:51-62.
3. Agudelo GDA, Cerón MF, Restrepo LFB. Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. *Rev Colomb Cienc Pecu* 2008;21:39-58.
4. de Andrade SL, Souza PLC, Mendes CHM, Fonseca S, Gomes da SF. Traditional and alternative nonlinear models for estimating the growth of Morada Nova sheep. *Rev Bras Zootec* 2013;42:651-655.
5. Bahreini BMR, Aslaminejad AA, Sharifi AR, Simianer H. Comparison of mathematical models for describing the growth of Baluchi sheep. *J Agr Sci Tech* 2014;14:57-68.
6. Teixeira NMR, da Cruz JF, Neves FH, Santos SE, Souza CPL, Mendes MC. Descrição do crescimento de ovinos Santa Inês utilizando modelos não-lineares seleccionados por análise multivariada. *Rev Bras Saude Prod Anim* 2016;17:26-36.

7. Malhado CHM, Carneiro PL, Alfonso PRA, Souza AA, Sarmento. Growth curves in Dorper sheep crossed with the local Brazilian breeds, Morada Nova, Rabo Largo, and Santa Inês. *Small Ruminant Res* 2009;84:16-21.
8. Ben HM, Atti N. Comparison of growth curves of lamb fat tail measurements and their relationship with body weight in Babarine sheep. *Small Ruminant Res* 2013;95:120-127.
9. Lupi TM, Nogales S, León JM, Barba C, Delgado JV. Characterization of commercial and biological growth curves in the Segureña sheep breed. *Animal* 2015;9:1341-1348.
10. SAS. SAS/STAT User's Guide (Release 9.0). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 2005.
11. Motulsky H, Christopoulos A. Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression. A practical guide to curve fitting. Graph Pad Software Inc. 2003.
12. Hossein-Zadeh NG. Modeling the growth curve of Iranian Shall sheep using non-linear growth models. *Small Ruminant Res* 2015;130:60-66.
13. Hossein-Zadeh NG, Golshani M. Comparison of non-linear models to describe growth of Iranian Guilan sheep. *Rev Colomb Cienc Pecu* 2016;29:199-209.
14. Owens FN, Dubeski P, Hanson CF. Factors that alter the growth and development of ruminants. *J Anim Sci* 1993;71:3138-3150.
15. Lupi TM, León JM, Nogales S, Barba C, Delgado JV. Genetic parameters of traits associated with the growth curve in Segureña sheep. *Animal* 2016;9:729-735.
16. Ribeiro de FA. Curvas de crescimento na produção animal. *Rev Bras Zootec* 2005;34:786-795.
17. Kopuzlu S, Sezgin E, Esenbuga E, Bilgin OC. Estimation of growth curve characteristics of Hemsin male and female sheep. *J Appl Anim Res* 2014;42:228-232.
18. Gbangboche AB, Glele-Kakai R, Salifou S, Albuquerque LG, Leroy PL. Comparison of nonlinear growth models to describe the growth curve in West African Dwarf sheep. *Animal* 2008;2:1003-1012.
19. Topal M, Ozdemir M, Aksakal V, Yildiz N, Dogru U. Determination of the best nonlinear function in order to estimate growth in Morkaraman and Awassi lambs. *Small Ruminant Res* 2004;55:229-232.

20. Bathaei SS, Leroy PL. Growth and mature weight of Mehraban Iranian fat-tailed sheep. *Small Ruminant Res* 1996;22:155-162.
21. Lambe NR, Navajas EA, Simm G, Bünger L. A genetic investigation of various growth models to describe growth of lamb of two contrasting breeds. *J Anim Sci* 2006;84:2642-2654.
22. Acioli da SLS, Bossi FA, de Lima da SF, Mendes GB, de Oliveira SR, Tonhati H, da Costa BC. Growth curve in Santa Inês sheep. *Small Ruminant Res* 2012;105:182-185.